

Řešení přetoků činného výkonu v PS ČR v souvislosti s narušením kritéria N-1

Congestion management in CEPS transmission grid for N-1 case

Bc. Václav Gromnica

Diplomová práce

Vedoucí práce: prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.

Ostrava, 2021

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Stanislavu Ruskovi, CSc. za jeho pomoc, cenné rady, shovívavost a čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky.

Rád bych poděkoval také Ing. Petru Froňkovi za odbornou pomoc, kterou mi poskytl uvedením do dané problematiky z praxe, a také zpětnou vazbu k řešení provozních scénářů.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá řešením přetoků činného výkonu v přenosové soustavě ČR v souvislosti s kritériem N-1. V práci je věnován prostor sítím nadřazené soustavy a jejich provozování. Zbytek teoretické části se zabývá popisem možných hrozeb z hlediska zajištění bezpečného provozu a detailním rozбором opatření pro řešení kontingencí v soustavě. V praktické části se práce zabývá třemi provozními scénáři. Scénáře jsou nejdříve řádně analyzovány a na základě výsledků kontingenční analýzy je lokalizován problém. Následně je pro každý ze scénářů navrženo několik možných technických opatření. Zvolená opatření jsou poté mezi sebou porovnávána a následuje zhodnocení účinku těchto opatření.

Klíčová slova

N-1, kontingence, kontingenční analýza, nápravná opatření

Abstract

This diploma thesis deals with congestion management in CEPS transmission grid for N-1 case. The thesis is devoted to the transmission grids and their operation. The rest of the theoretical part deals with the description of potential threats in terms of ensuring safe operation and a detailed analysis of measures to address contingencies in the system. The practical part deals with three operational scenarios. The scenarios are first properly analyzed and based on the contingency analysis results the problem is localized. Subsequently, several possible technical measures are designed for each of the scenarios. The selected measures are then compared with each other and the evaluation of the effect of these measures follows.

Key words

N-1, contingency, contingency analysis, remedial actions

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	5
Seznam použitých cizích termínů	6
Seznam ilustrací	7
Seznam tabulek	8
1 Úvod	9
2 Teoretický rozbor sítí nadřazené soustavy ČR	10
2.1 Vymezení základních pojmů	10
2.2 Provozovatel přenosové soustavy ČR – ČEPS	12
2.3 Druhy transformátorů v PS ČR	13
3 Popis provozní situace ve vymezené oblasti	15
3.1 Vymezená oblast	15
3.2 Pozorovatelná oblast (OA)	16
3.3 Regionální bezpečnostní koordinátoři (RSC)	16
3.4 Poskytování služeb PPS	17
4 Popis a rozbor možných hrozeb z hlediska zajištění bezpečného provozu PS ČR	20
4.1 Kritérium N-1	20
4.2 Blackout	21
5 Dostupná opatření pro řešení kontingencí v soustavě a jejich rozbor	23
5.1 Rozdělení opatření z hlediska času nasazení	23
5.2 Výčet možných opatření	23
5.3 Rozbor jednotlivých opatření	24
6 Nástroje pro analýzu zabezpečení provozu v reálném čase	30
6.1 Loadflow (LF)	30
6.2 Kontingenční analýza (KAN)	30
7 Výběr vhodných scénářů, jejich případná modifikace, aplikace vybraných opatření a jejich vyhodnocení	32
7.1 Provozní scénář I. ze dne 19.11.2020 – čas 14:05	33
7.2 Provozní scénář II. ze dne 21.12.2020 – čas 08:05	43
7.3 Provozní situace III. ze dne 19.11.2020 – čas 09:20	55
8 Závěr	66
Literatura	67

Seznam použitých symbolů a zkratk

aFRR	zálohy pro regulaci výkonové rovnováhy s automatickou aktivací
aj.	a jiné
a.s.	akciová společnost
BO	blackout
CCT	critical clearing time
CE	Continental Europe
CT	countertrade (protiobchod – význam rozveden dále)
ČEPS	provozovatel PS ČR
ČR	Česká republika
DS	distribuční soustava
DP	diplomová práce
DŘS	dispečerský řídicí systém
ENTSO-E	evropská síť provozovatelů přenosových soustav
ES	elektrizační soustava
f	frekvence (Hz)
IGCC	international grid control cooperation
KAN	kontingenční analýza
KSP	kombinovaný spínač přípojníc
KVET	kombinovaná výroba elektřiny a tepla
mj.	mimo jiné
MRA	multilateral remedial actions (vícestranná koordinovaná opatření)
např.	například
OA	observability area (pozorovatelná oblast – význam rozveden dále)
OZE	obnovitelné zdroje energie
PDP	podélné dělení přípojníc
PDS	provozovatel distribuční soustavy
PPS	provozovatel přenosové soustavy
PS	přenosová soustava
PSE	provozovatel přenosové soustavy v Polsku
PSP	příčný spínač přípojníc
PST	transformátor pro regulaci fáze napětí (phase shifting transformer)
SP	spínač přípojníc
SVR	služby výkonové rovnováhy

Seznam použitých cizích termínů

Pozn.: V diplomové práci jsou použity cizí termíny, které jsou v této kapitole vysvětleny. Termíny často nemají oficiální český překlad a v praxi se i v ČR používají termíny cizí. Jelikož jednotliví PPS musí často v rámci koordinace komunikovat se sousedními PPS, některé obecné výrazy se nepřekládají.

Observability area – pozorovatelná oblast soustavy v modelu sítě

Continental Europe – kontinentální Evropa

Critical clearing time – kritický čas vypnutí poruchy

International grid control cooperation – Projekt vzájemné výpomoci při udržování výkonové rovnováhy

Blackstart – tzv. “start ze tmy” – Proces obnovení provozu elektrárny nebo části elektrické sítě do provozu bez pomoci sousední sítě, která je bez poruchy.

Countertrade – protiobchod (blíže vysvětleno v textu práce)

Seznam ilustrací

Obrázek 2.1 - Zjednodušené zobrazení ES	10
Obrázek 2.2 - Přenosová soustava ČR	11
Obrázek 2.3 - Rozvojové schéma PS ČR	11
Obrázek 2.4 - Mapa PS ČR se zaznačením umístění PST	14
Obrázek 3.1 - Regionální skupiny PPS v Evropě	15
Obrázek 3.2 - Regionální bezpečnostní koordinátoři	17
Obrázek 5.1 - Schéma rozvodny 400 kV – Chodov	26
Obrázek 7.1 - Pozice polského vedení s označením V401	33
Obrázek 7.2 - Základní topologie PS ČR provozního scénáře I.	34
Obrázek 7.3 - Detailní situace u vedení V450, V451 a V454	36
Obrázek 7.4 - Detail oblasti vedení V450, V451 a V454	38
Obrázek 7.5 - Původní zapojení rozvodny Čechy-střed (400 kV) – provozní scénář I.	39
Obrázek 7.6 - Zapojení rozvodny Čechy-střed (400 kV) po rekonfiguraci – provozní scénář I.	40
Obrázek 7.7 - Základní topologie PS ČR provozního scénáře II.	43
Obrázek 7.8 - Oblast V401 v detailu	44
Obrázek 7.9 - Oblast V433 v detailu	45
Obrázek 7.10 - Původní zapojení rozvodny Krasíkov (400 kV) – provozní scénář II.	46
Obrázek 7.11 - Zapojení rozvodny Krasíkov (400 kV) po rekonfiguraci – provozní scénář II.	47
Obrázek 7.12 - Pozice zdrojů využitých v 1. var. redispečinku – provozní scénář II.	50
Obrázek 7.13 - Pozice zdrojů využitých ve 2. var. redispečinku – provozní scénář II.	52
Obrázek 7.14 - Pozice zdrojů využitých ve 3. var. redispečinku – provozní scénář II.	53
Obrázek 7.15 - Základní topologie PS ČR provozního scénáře III.	55
Obrázek 7.16 - Situace PS ČR – provozní scénář III.	57
Obrázek 7.17 - Původní zapojení rozvodny Čechy-střed (220 kV) – provozní scénář III.	59
Obrázek 7.18 - Zapojení rozvodny Čechy-střed (220 kV) po rekonfiguraci – provozní scénář III.	60
Obrázek 7.19 - Označení V401	61

Seznam tabulek

Tabulka 6.1 - Příklad výsledků KAN	30
Tabulka 7.1 - Výsledky KAN v původním stavu – provozní scénář I.	34
Tabulka 7.2 - Výsledky KAN po změně odboček PST – provozní scénář I.	35
Tabulka 7.3 - Výsledky KAN po redispečinku – provozní scénář I.	37
Tabulka 7.4 - Výsledky KAN po redispečinku a přenastavení odboček PST – provozní scénář I.	38
Tabulka 7.5 - Výsledky KAN po rekonfiguraci – provozní scénář I.	40
Tabulka 7.6 - Výsledky KAN po kombinaci opatření – provozní scénář I.	41
Tabulka 7.7 - Výsledky KAN v původním stavu – provozní scénář II.	43
Tabulka 7.8 - Výsledky KAN po rekonfiguraci – provozní scénář II.	48
Tabulka 7.9 - Porovnání N-1 před a po rekonfiguraci – provozní scénář II.	48
Tabulka 7.10 - Výsledky KAN po přenastavení odboček PST – provozní scénář II.	49
Tabulka 7.11 - Porovnání N-1 před a po přenastavení odboček PST – provozní scénář II.	49
Tabulka 7.12 - Výsledky KAN po 1. var. redispečinku – provozní scénář II.	50
Tabulka 7.13 - Porovnání N-1 před a po 1. var. redispečinku – provozní scénář II.	50
Tabulka 7.14 - Výsledky KAN po 2. var. redispečinku – provozní scénář II.	51
Tabulka 7.15 - Porovnání N-1 před a po 2. var. redispečinku – provozní scénář II.	51
Tabulka 7.16 - Výsledky KAN po 3. var. redispečinku – provozní scénář II.	53
Tabulka 7.17 - Porovnání N-1 před a po 3. var. redispečinku – provozní scénář II.	53
Tabulka 7.18 - Výsledky KAN v původním stavu – provozní scénář III.	56
Tabulka 7.19 - Porovnání zatížení vedení – provozní scénář III.	58
Tabulka 7.20 - Výsledky KAN po vypnutí vedení V203 – provozní scénář III.	58
Tabulka 7.21 - Výsledky KAN po rekonfiguraci – provozní scénář III.	60
Tabulka 7.22 - Výsledky KAN po zapnutí V401 – provozní scénář III.	62
Tabulka 7.23 - Porovnání N-1 před a po zapnutí V401 – provozní scénář III.	62
Tabulka 7.24 - Výsledky KAN po redispečinku – provozní scénář III.	63
Tabulka 7.25 - Porovnání N-1 před a po redispečinku – provozní scénář III.	63

1 Úvod

V diplomové práci se zabývám řešením přetoků činného výkonu v PS ČR v souvislosti s narušením kritéria N-1. Neplánované přetoky činného výkonu jsou často způsobeny náhlými změnami v síti. Může se jednat o změnu výroby nebo spotřeby elektrické energie, ale také o kontingence prvků v síti. Neplánované přetoky způsobené těmito změnami mohou ohrozit bezpečný provoz sítě.

Cílem práce je využít a porovnat různá technická opatření při řešení negativních dopadů kontingencí na bezpečnost soustavy ve vztahu k narušení kritéria N-1 v případě přenášeného činného výkonu. To vše provádím v simulačním prostředí dispečerského řídicího systému ČEPS.

Práci systematicky rozdělují do několika kapitol. V následující kapitole věnuji prostor teoretickému rozboru PS ČR, základním pojmům a způsobu provozování PS.

Ve třetí kapitole definuji vymezenou a pozorovatelnou oblast, jejich význam a popisuji provozní situaci ve vymezené oblasti.

Ve čtvrté kapitole se věnuji popisu a rozboru možných hrozeb z hlediska zajištění bezpečného provozu. Vysvětluji zde důležitý termín kritérium N-1. Závěr kapitoly věnuji plánu obnovy po rozsáhlejší poruše typu blackout.

V páté kapitole vymezuji a rozebírám jednotlivá a v praxi používaná opatření pro řešení kontingencí v soustavě.

Šestá kapitola obsahuje krátké uvedení do nástroje, který využívám k analýze zabezpečení PS ČR v simulacích.

V sedmé kapitole se postupně zabývám řešením třech provozních stavů. Ty jsem vybral a modifikoval pro potřeby práce ve spolupráci s pracovníkem firmy ČEPS. Samotnou analýzu provozního stavu, jeho řešení a zhodnocení již provádím samostatně. Výsledky práce komentuji a hodnotím v závěru.

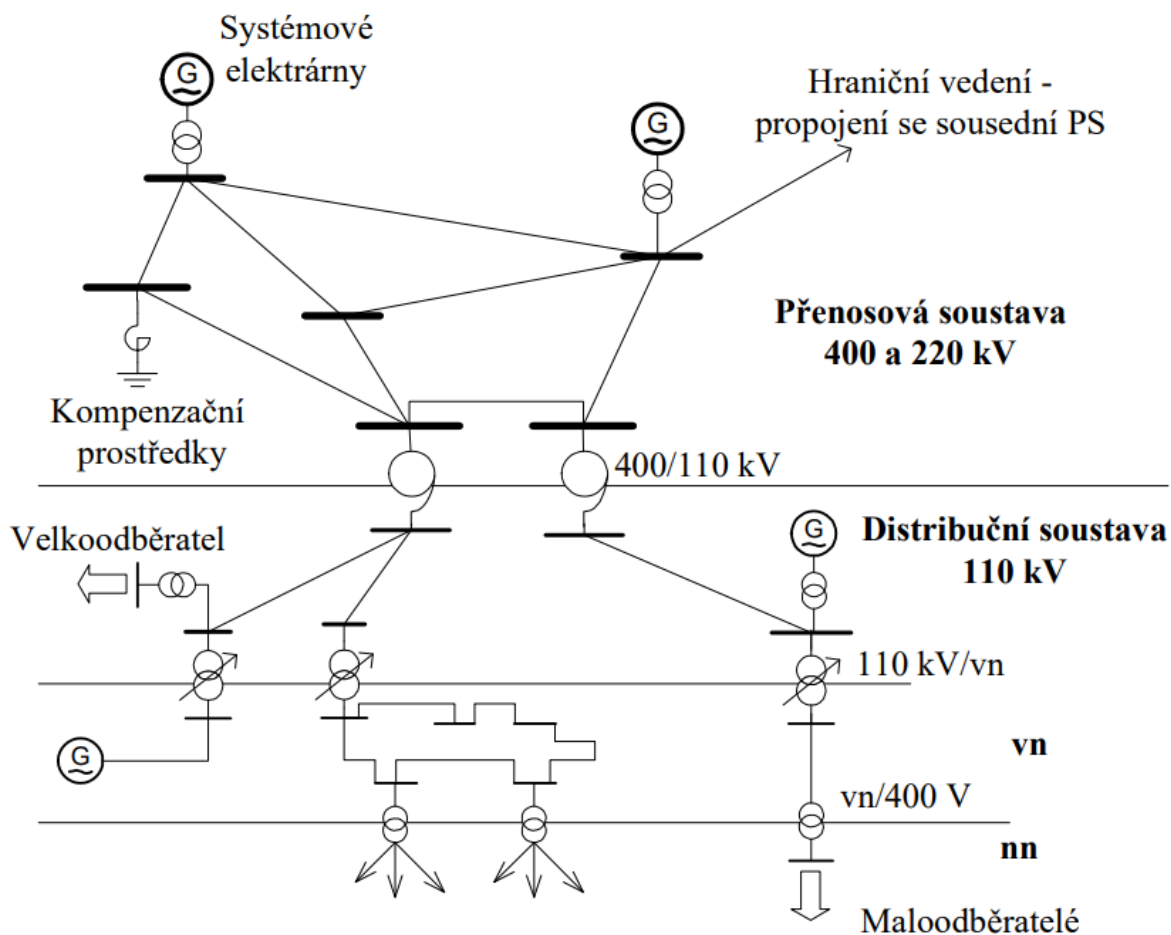
2 Teoretický rozbor sítí nadřazené soustavy ČR

2.1 Vymezení základních pojmů

Pro účely diplomové práce nejdříve vymezují základní pojmy z oblasti energetiky.

2.1.1 Elektrizační soustava (ES)

Základním pojmem je elektrizační soustava. ES je propojený systém, který zahrnuje všechna zařízení sloužící k výrobě (získání), přenosu, distribuci a spotřebě elektrické energie. Obrázek 2.1 zjednodušeně, ale přehledně zobrazuje ES. [1]



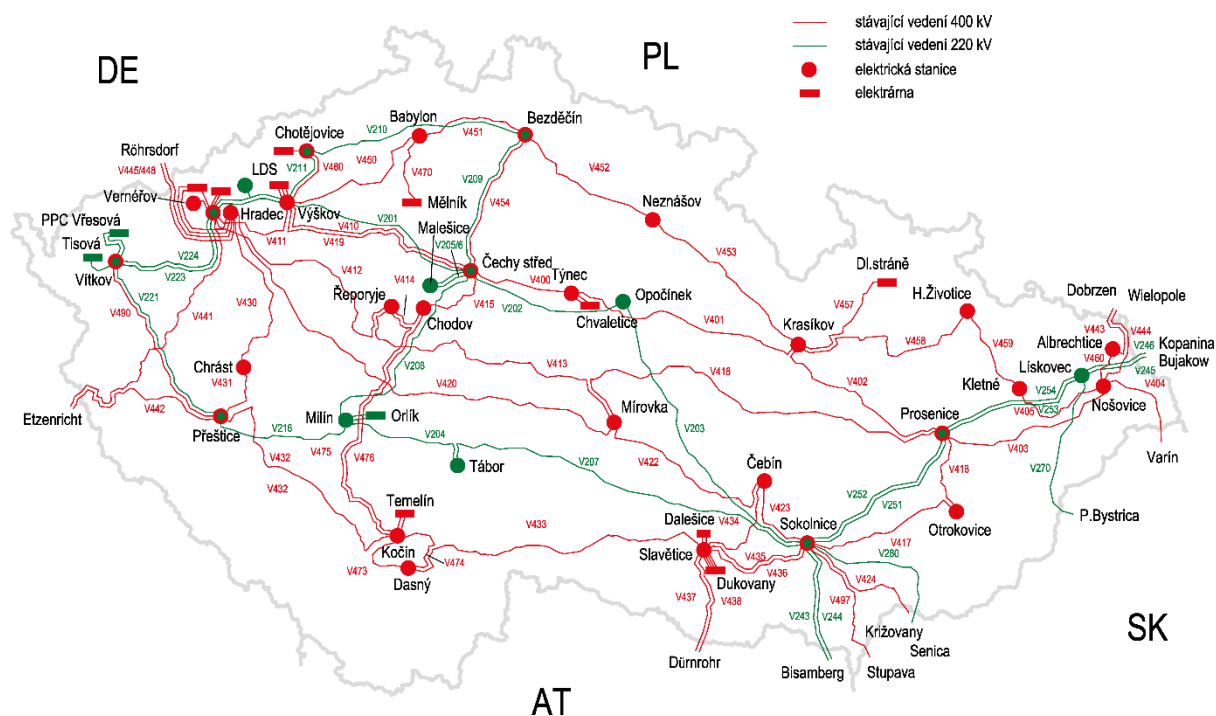
Obrázek 2.1 - Zjednodušené zobrazení ES [1]

2.1.2 Přenosová soustava (PS)

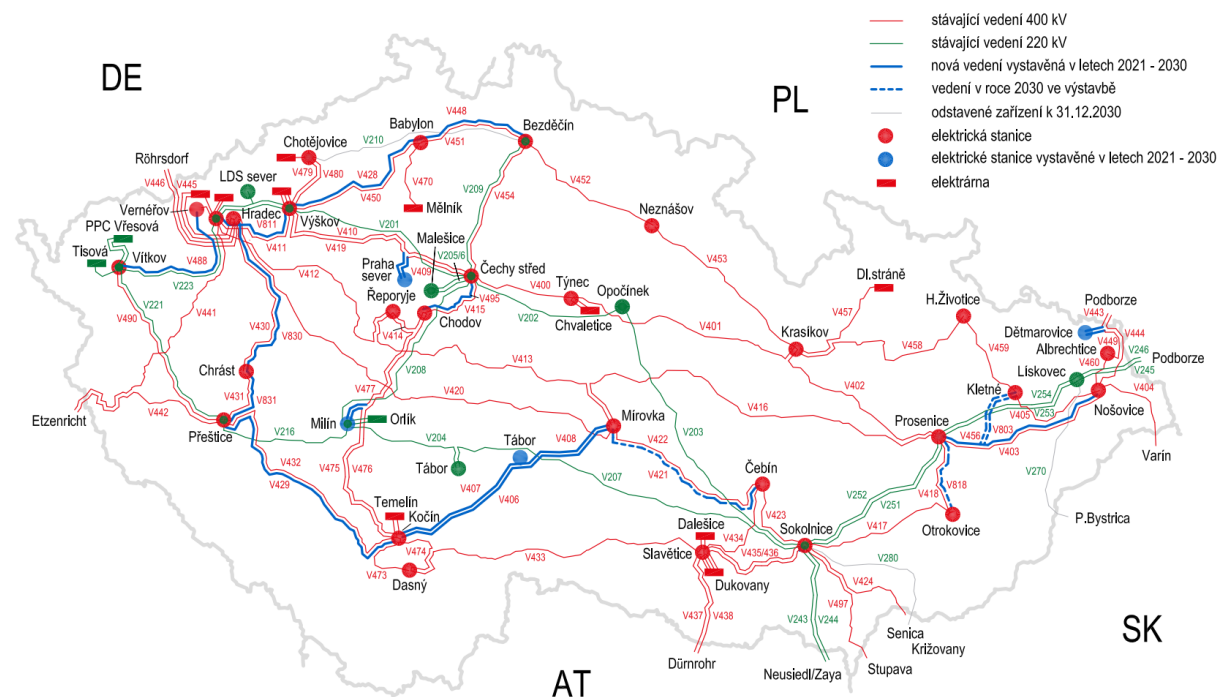
PS je páteřní síť, velmi důležitým mezikládkem, celého propojeného systému. Slouží zejména k přenosu výkonů na velké vzdálenosti a zajišťuje pro dnešní dobu velmi zásadní propojení ES ČR s ES zahraničních provozovatelů. [1,2]

PS zahrnuje vedení a zařízení propojující jednotlivé elektrárny s rozvodnami. Rozvodny jsou propojeny mezi sebou a také slouží k propojení soustav o různých napěťových hladinách. PS je zčásti zdrojem elektrické energie pro DS. Zároveň se postupně zvyšuje podíl zdrojů dodávajících vyrobenou elektrickou energii přímo do DS, ze které je rozváděna konečným spotřebitelům. [1,2]

Obrázek 2.2 znázorňuje aktuální PS ČR [3], obrázek 2.3 pak rozvojové schéma PS ČR [15].



Obrázek 2.2 - Přenosová soustava ČR [3] – platné ke dni 15.4.2021



Obrázek 2.3 - Rozvojové schéma PS ČR [15] – platné ke dni 15.4.2021

2.2 Provozovatel přenosové soustavy ČR – ČEPS

Výhradním provozovatelem PS ČR je firma ČEPS, a.s. Působí tak na základě licence pro přenos elektrické energie, udělené Energetickým regulačním úřadem na základě Energetického zákona. Hlavním úkolem společnosti je zajistit bezpečný, spolehlivý a hospodárny provoz PS. Neméně důležitým úkolem provozovatele je také rozvoj PS v rámci propojených evropských soustav. [2,3]

V následujících podkapitolách nepopisují služby poskytované ČEPS. Rozborem těchto služeb se zabývá až v kapitole 3. *Popis provozní situace ve vymezené oblasti.*

2.2.1 Vedení a stanice provozovaná firmou ČEPS, a.s.

ČEPS provozuje v PS ČR vedení:

- napěťové hladiny 400 kV – 3867 km,
- napěťové hladiny 220 kV – 1824 km,
- napěťové hladiny 110 kV – 84 km,

a dále:

- 32 stanic zajišťující propojení mezi PS a DS,
- 10 stanic zajišťující vyvedení výkonu z výroben elektrické energie,
- 8 stanic složených z rozveden 400 kV a 220 kV,
- 4 stanice zajišťující vazbu mezi systémy 400 kV a 220 kV (Hradec, Čechy střed, Sokolnice a Prosenice).

ČEPS udržuje a obnovuje 44 rozveden s celkem 79 transformátory.

Pozn. Všechny údaje v kapitole 2.2.1 jsou platné ke dni 31.12.2020 a čerpány z webu provozovatele PS. [3]

Z výše uvedeného je patrné, že PS ČR tvoří zejména vedení napěťové hladiny 400 kV a 220 kV. Síť o napěťové hladině 400 kV lze považovat za aktuální pro rozvoj PS. Síť 220 kV je sice taktéž používána, nicméně z dostupných dat z minulých let a rozvojového plánu ČEPS se od výstavby nových vedení této napěťové hladiny upouští a v případě potřeby se buď stávající vedení 220 kV postupně přestavují na vyšší napěťovou hladinu 400 kV, nebo ještě častěji ČEPS hodlá již stávající vedení 400 kV zdvojit. To lze odůvodnit tím, že je prakticky jednodušší využít již stávajícího koridoru vedení než pro vedení hledat novou lokalitu. Není to však podmínkou. Zvýšení napěťové hladiny, případně zdvojení vedení má za důsledek zvýšení přenosové schopnosti vedení, zároveň však není potřeba vykupovat nové pozemky. [16]

Na tyto sítě jsou napojeny jednotlivé regionální distribuční soustavy. Ty pracují s nižšími napěťovými hladinami. Základním pilířem DS je vedení napěťové hladiny 110 kV, mezi další typické napěťové hladiny patří – 35, 22 kV a pochopitelně také 400 a 230 V. V některých oblastech je možné nalézt také vedení napěťové hladiny 10, 6 a 3 kV – v horách, některých městech a továrnách. [3]

2.3 Druhy transformátorů v PS ČR

Transformátor je elektrický netočivý stroj, pracující na principu elektromagnetické indukce. Transformátory PS nejčastěji slouží k přenosu elektrického výkonu na jinou napěťovou hladinu.

Vazební transformátory

- k zajištění vazby mezi napěťovými hladinami 400 kV a 220 kV (v ČR jsou 4),
- o zdánlivém výkonu 500 MVA,
- instalované pomocí jednofázových jednotek (3 + 1 rezervní jednotka).

Síťové transformátory

- k zajištění vazby mezi PS a DS (400/110 kV, případně 220/110 kV),
- o zdánlivém výkonu 200–350 MVA,
- povětšinou instalované pomocí třífázových jednotek.

PST – transformátor pro regulaci fáze napětí

- k řízení toku činného výkonu,
- o zdánlivém výkonu 850 MVA.

Vzhledem k tomu, že řízení toku činného výkonu pomocí PST je jedním z možných opatření, následující kapitolu věnuji rozboru tohoto speciálního typu transformátoru.

2.3.1 Transformátory s řízeným posuvem fáze (PST)

PST je moderní zařízení, které slouží k optimalizaci provozu PS. Používá se ve specifických místech PS, kde je potřeba řídit tok činného výkonu. Obvykle se jedná o hraniční profily, nicméně není to podmínkou.

V PS ČR se nachází tyto transformátory 4, všechny v rozvodně Hradec u Kadaně. Jejich pozice v PS ČR je zaznačená na obrázku 2.4. Jsou zapojeny na dvou vedeních V445 a V446. Vedení jsou provozována na napěťové hladině 400 kV a společně ústí do rozvodny Röhrsdorf (severní spojení s Německem). Smysl použití v tomto konkrétním místě soustavy spočívá v možnosti regulovat přeshraniční vedení, na kterých často dochází k obrovským přetokům činného výkonu.

V posledních letech vzniká tlak na výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Velmi rozšířeným OZE se stala elektrická energie z větru. K jejímu velkému rozvoji došlo mj. na severu Německa anebo také v Dánsku. Jedná se jak o větrné elektrárny na pevnině (on-shore) tak i na moři (off-shore).

Pakliže jsou příznivé větrné podmínky, dochází v tomto místě k velké výrobě elektrické energie. V Německu samotném však není největší spotřeba energie právě tam. Oblast s vyšší spotřebou se nachází na jihu Německa. Energii je tak potřeba přenést. Problémem předchozích let byla skutečnost, že Německo nemělo kvalitní vedení na trase sever-jih. Část činného výkonu je tak mj. přenášena do PS ČR (konkrétně rozvodny Hradec) a do polské PS.

V častých případech dochází k vysokým přetokům po vedeních V445 a V446 spojujících zmíněné rozvodny Röhrsdorf a Hradec. Z toho důvodu je použití PST na této trase výhodné. Pakliže je to nutné a je ohrožen provoz zmíněných vedení, po dohodě v rámci TSCNET, minimálně pak s německými (50Hertz a TenneT TSO) a polským (PSE) – mohou dispečeri využít PST a tok činných výkonů na daných vedeních regulovat.

Základní princip PST

- absolutní hodnota napětí v obou koncových bodech,
- vzájemný fázový posuv mezi těmito napětími,
- impedanci vedení. [4]

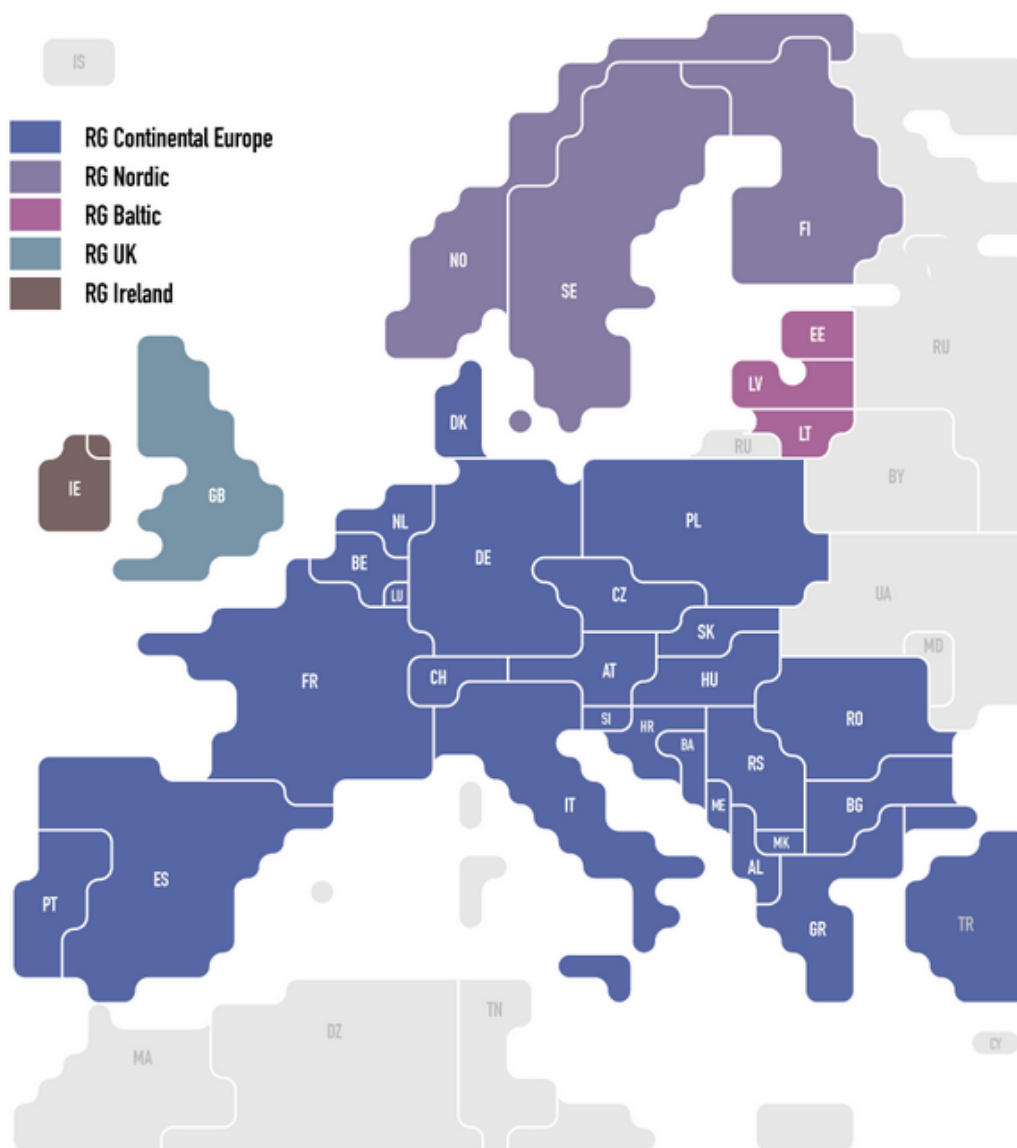
Řízení fázového posuvu je v praxi jednoduše proveditelné. PST sestává z budicí a sériové jednotky. Celkem se v PST nacházejí 3 trojfázová vinutí. *Budicí vinutí* je zapojeno mezi jednotlivé fáze a zem (nulový bod). Přes pevnou odbočku je výstupní napětí *budicí jednotky* přivedeno do části *sériového vinutí*. To je vřazeno přímo do vedení.

14

3 Popis provozní situace ve vymezené oblasti

3.1 Vymezená oblast

Vymezenou oblastí pro potřeby diplomové práce zavádím oblast, kterou pokrývají svou činností ti PPS, kteří jsou členy sdružení ENTSO-E a zároveň jsou součástí tzv. kontinentální Evropy. Vymezená oblast diplomové práce je přehledně vyznačena na obrázku 3.1, kde jedná se o oblast vyznačenou tmavě modrou barvou – *RG Continental Europe*.



Obrázek 3.1 - Regionální skupiny PPS v Evropě [13] – platné k 15.4.2021

Důvodem vymezení této oblasti je skutečnost, že je tato oblast v Evropě synchronně propojena. Má tedy stejný kmitočet a provozovatelé jednotlivých PS spolu spolupracují.

3.2 Pozorovatelná oblast (OA)

Touto oblastí mám na mysli model sítě, který je viditelný v dispečerském řídicím systému ČEPS. Obrázek OA z dispečerského řídicího systému není dostatečně přehledný, OA tak vyjádřím pomocí těch PPS, kteří se v ní nacházejí.

Pozorovatelná oblast zahrnuje prvky těchto PPS:

- TenneT TSO – Německo,
- 50Hertz Transmission – Německo,
- APG – Rakousko,
- PSE – Polsko,
- SEPS – Slovensko,
- MAVIR – Maďarsko,
- HEP – Chorvatsko (2 rozvodny 400 kV),
- ELES – Slovinsko (2 rozvodny 400 kV),
- Ukrenegro – Ukrajina (2 rozvodny 400 kV v Mukačevu). [12]

3.2.1 Význam pozorovatelné oblasti

Pozorovatelná oblast slouží pro účely síťových výpočtů v reálném čase. ES ČR je součástí synchronně propojené evropské soustavy kontinentální Evropy (CE). Jako taková svým provozem ovlivňuje a je ovlivňována jednotlivými prvky této synchronně propojené soustavy.

K nejpresnějším výpočtům dochází, pakliže se pracuje s modelem celé synchronně propojené soustavy. V důsledku obrovského množství dat se ovšem zvyšuje doba trvání veškerých výpočtů. V praxi je potřeba zvolit takovou variantu, při které bude zachována dostatečná přesnost výpočtů nad modelem sítě a současně nízká doba trvání těchto výpočtů.

Dle článku publikovaného pracovníky ČEPS bylo použito mnou výše uvedeného vymezení pozorovatelné oblasti. Kritériem pro rozšíření pozorovatelné oblasti bylo porovnání přesnosti simulačních výpočtů při výpadku nejzatíženějšího vedení na skutečných provozních stavech PS ČR za uplynulý rok. Porovnávaly se výsledky simulačních výpočtů výpadků nad modelem o rozsahu sledované soustavy v DŘS s celoevropským modelem. V případě, že chyba dosáhla alespoň 5 %, model byl rozšířen. [5]

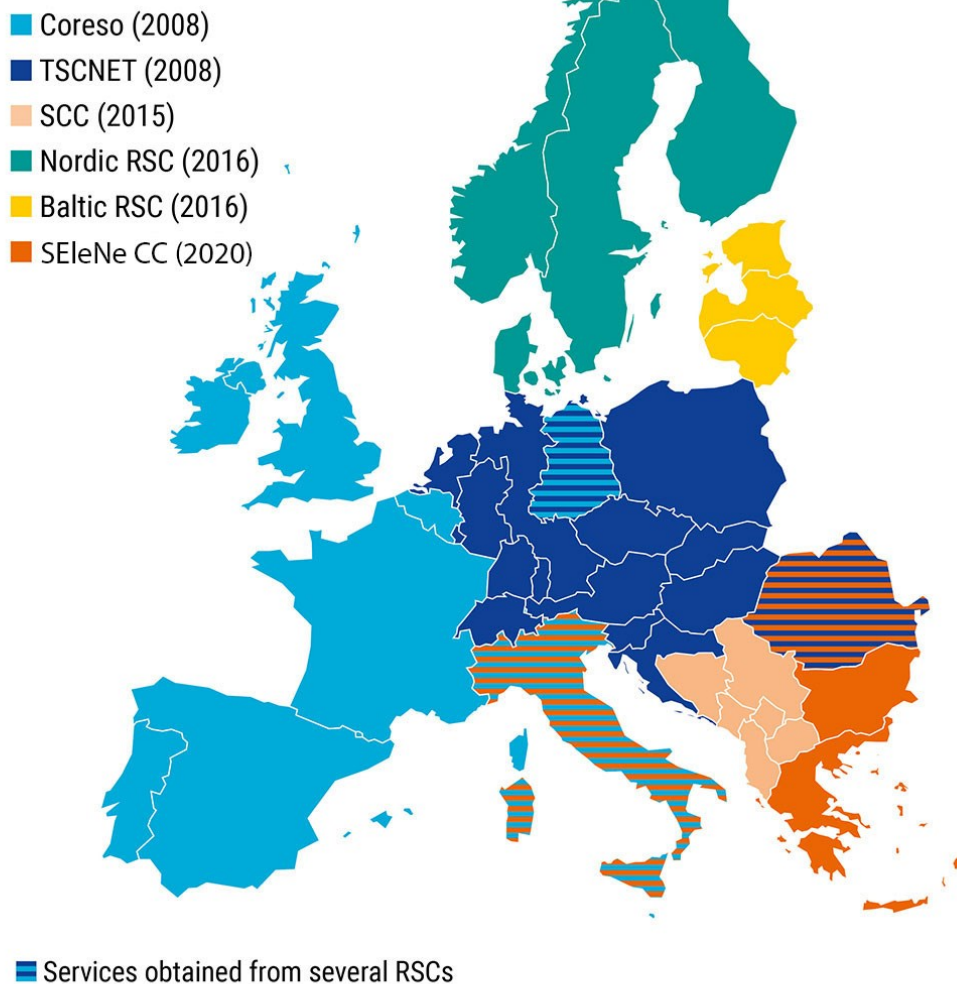
3.3 Regionální bezpečnostní koordinátoři (RSC)

Obrázek 3.2 zobrazuje tzv. RSC. V Evropě jich funguje celkem šest. ČEPS spadá pod koordinátora TSCNET.

RSC poskytují služby jednotlivým PPS za účelem zvýšení bezpečnosti propojené soustavy. například poskytují regionální model sítě nebo provádějí pokročilé výpočty. PPS tak např. dostávají informaci, která nápravná opatření blízko státních hranic jsou nákladově nejefektivnější.

RSC však nepřebírají kontrolu nad sítí. Tato zodpovědnost zůstává v rukou jednotlivých PPS. Ti však mají možnost skrze RSC nápravná opatření koordinovat. [15]

6 RSCs



Obrázek 3.2 - Regionální bezpečnostní koordinátoři [15] - platné ke dni 15.4.2021

3.4 Poskytování služeb PPS

V rámci ES ČEPS poskytuje několik služeb. Ty se dělí na přenosové a systémové. Jedná se zejména o služby spojené se zajištěním rovnováhy mezi výrobou a spotřebou elektrické energie v reálném čase. Elektrická energie v okamžiku vyrobená musí být v tomtéž okamžiku spotřebovaná. Pokud tato služba není zajištěna, má to negativní dopady na celou propojenou soustavu. Přímo s tím souvisí kvalita elektrické energie, zejména frekvence a napětí. Tyto parametry definuje Kodex PS. [17]

3.4.1 Přenosové služby (PŘS)

PŘS jsou základní činností ČEPS jako PPS. Spočívají v zajištění přenosu elektrické energie z míst výroby do míst spotřeby, a to jak vnitrostátně, tak přeshraničně. [25]

3.4.2 Systémové služby (SyS)

Systémové služby zajišťují PPS a slouží k zajištění bezpečného a spolehlivého provozu PS, kvality přenosu elektrické energie a k zajištění požadavků pro provoz ES ČR vyplývajících z mezinárodní spolupráce.

PPS zajišťuje následující systémové služby:

a) Udržování kvality elektrické energie

Služba využívá procesu automatické regulace frekvence (FCP) a služby záloh pro automatickou regulaci frekvence (FCR), proces obnovení frekvence a výkonové rovnováhy (FRP) a služby záloh pro regulaci výkonové rovnováhy s automatickou (aFRR) a manuální (mFRR) aktivací.

Z hlediska napětí je využíváno sekundární regulace napětí pomocí sekundární regulace U/Q (SRUQ) a terciární regulace napětí pomocí optimalizace.

Kvalitní sinusový průběh napětí je zajištěn pomocí monitorování a měření. Významnou roli hraje také stabilita přenosu, která je zajištěna pomocí sledování a vyhodnocování měřených údajů v reálném čase a kontrolními výpočty stability.

Kritéria pro posuzování kvality elektřiny vycházejí z platných technických norem. [22]

b) Udržování výkonové rovnováhy v reálném čase

Zajišťováno opět jak automatickým, tak ručně ovládaným procesem obnovení frekvence a výkonové rovnováhy, případně snížením či zvýšením výkonu. Služba využívá prostředků sekundární regulace f a P a terciární regulaci výkonu. [22]

Kritéria pro posuzování kvality této služby a salda předávaných výkonů vycházejí z rámcového pokynu pro provoz elektroenergetických PS. [23]

c) Obnovení provozu

Hlavním prostředkem při obnovení provozu je plán obnovy, popsán ve 3. kapitole, dále start ze tmy, nebo ostrovní provoz. Kritéria pro posuzování kvality obnovení provozu jsou stanoveny předpisy ČEPS a ENTSO-E. [22]

d) Dispečerské řízení

Zajišťuje zejména řízení činných toků výkonů pomocí dostupných opatření, které jsou rozebrány v kapitole č. 4.

Kritéria systémových služeb vycházejí v případě kvality elektrické energie z technických norem. Další ze systémových služeb především z předpisů, provozních instrukcí, případně z doporučení ze strany ENTSO-E nebo ČEPS. [22]

3.4.3 Dispečerské řízení

Každý PPS si zřizuje pro potřeby dispečerského řízení technický dispečink. Úlohou dispečinku ČEPS je plnit základní povinnosti PPS, tedy bezpečně, spolehlivě a hospodárně provozovat PS v každém okamžiku.

Dispečerské řízení má 3 složky:

- příprava provozu
 - roční,
 - měsíční,
 - týdenní,
 - denní,
- operativní dispečerské řízení,
- vyhodnocení provozu. [24]

3.4.4 Podpůrné služby (PpS)

PpS slouží k zajišťování systémových služeb. Poskytování PpS je založeno na tržních mechanismech a pro jejich poskytování je nutné splnit technické podmínky. Poskytování PpS je vázáno smlouvou mezi poskytovatelem a PPS.

PpS se dělí na:

- služby výkonové rovnováhy (SVR),
- ostatní podpůrné služby. [26]

3.4.4.1 Služby výkonové rovnováhy (SVR)

Výčet služeb výkonové rovnováhy:

- zálohy pro automatickou regulaci frekvence FCR,
- zálohy pro regulaci výkonové rovnováhy s automatickou aktivací aFFR,
- zálohy pro regulaci výkonové rovnováhy s manuální aktivací mFRR_t,
- proces náhrady záloh RR. [26]

3.4.4.2 Ostatní PpS

Mezi další podpůrné služby patří:

- sekundární regulace U/Q (SRUQ),
- schopnost ostrovního provozu (OP),
- schopnost startu ze tmy (BS). [26]

4 Popis a rozbor možných hrozeb z hlediska zajištění bezpečného provozu PS ČR

4.1 Kritérium N-1

Plněním kritéria N-1 se rozumí to, že kontingence kteréhokoliv definovaného prvku v celé OA síť nezpůsobí překročení dovolených provozních parametrů na monitorovaných prvcích ve vlastní soustavě, nebo okolních PS. [8]

V praxi je nutné zohlednit možnost dočasného přetížení a dostupnost efektivních a rychlých nápravných opatření. Indikované neplnění N-1 není považováno při následném vyhodnocení za skutečné neplnění N-1 v případě, kdy se monitorovaný prvek zatíží po výpadku do své meze přetížitelnosti, nebo zvýšené zatížitelnosti, a kdy v rámci této meze existují dostupná účinná nápravná opatření. [8]

Kontingence mohou být:

- *Normal* – výpadek jednoho prvku jako je vedení, generátor, transformátor, tlumivka či SP.
- *Exceptional* – tedy výjimečné. Například současný výpadek více vedení, výpadek části přípojníc, celé elektrárny apod. [8]

Pokud je kritérium N-1 není narušeno, soustava je v normálním stavu a není potřeba činit žádných opatření. Pokud kritérium dodrženo není, soustava přechází do stavu výstražného, ve kterém je již nutné přijmout určitá opatření. [8]

4.1.1 Přetížení

PS ČR musí být provozována takovým způsobem, aby splňovala bezpečnostní kritérium N-1. Pokud v soustavě dojde ke kontingenci prvku, dojde tak k přerušení vodivé cesty, která před výpadkem přenášela elektrický výkon. Vlivem takového výpadku následně dojde ke změně toků činného výkonu v síti. Při důsledném dodržování plnění kritéria N-1 může k přetížení dojít pouze v případě tzv. multikontingence, tedy výpadku více prvků současně. [8]

4.1.2 Šíření poruchy

V situaci, kdy vznikne porucha, je potřeba soustavu navrátit do normálního stavu. Obranný plán určuje následující sérii opatření proti:

- přetížení,
- kaskádovitému šíření poruchy,
- poklesu a vzrůstu frekvence,
- poklesu a vzrůstu napětí,
- kývání,
- ztrátě synchronismu. [1]

4.1.2.1 Šíření poruchy kaskádou

Tímto termínem se rozumí postupné vypnutí více než dvou prvků PS působením ochran. Předpokladem vzniku kaskádového šíření poruchy je předchozí neplnění kritéria N-1. V takovém případě po výpadku významného prvku dochází k přetížení prvků jiných a jejich výpadku z důvodu přetížení, poruchy nebo ztráty stability.

Stejně jako u přetížení i vznik kaskádového šíření poruchy lze vyloučit striktním dodržováním kritéria N-1 v PS. [8]

4.1.3 Sledované parametry

V úvodu kapitoly 4.1 zmiňuji, že plnění kritéria N-1 znamená udržení parametrů monitorovaných prvků v dovolených mezích. Jedná se o tyto parametry:

- I (A)
 - u vedení o napěťové hladině 400 kV a 220 kV,
 - na všech spínačích přípojnic (SP, KSP, PDP nebo PSP),
 - na vybraných částech přípojnic.
- S (MVA)
 - na transformátorech 400/220 kV respektive 400/110 kV a 220/110 kV.
- U (kV)
 - na přípojnicích rozvoden PS a DS.
- Vznik ostrova

Vzhledem ke složitosti dané problematiky je v praktické části práce sledováno narušení kritéria N-1 pouze ve vztahu k proudu a zdánlivému výkonu. Kritérium N-1 v otázce napětí a vzniku ostrova není po konzultaci se zástupci ČEPS uvažováno. [8]

4.2 Blackout

Blackoutem rozumíme rozsáhlý výpadek dodávky elektrické energie. Jedná se o velmi závažnou poruchu, která je sice velmi málo pravděpodobná, nicméně v provozu se občas vyskytuje. V praxi bývá blackout následkem několika poruch v soustavě v kombinaci s lidským faktorem.

Následky tohoto rozsáhlého výpadku dodávky jsou úměrné jeho délce. Krátké výpadky (v řádu jednotek hodin) mají dopady pouze na služby, případně u průmyslu s kontinuální výrobou dochází k narušování technologie.

Delší výpadky (jednotky dní) mají mnohem závažnější, celospolečenský dopad. Dochází k přerušení dodávek tepla a vody, omezeny jsou lékařské služby, doprava → zásobování potravinami, léky, pohonnými hmotami. Nedostupné jsou mobilní sítě, bankomaty i banky.

V každém případě znamená výpadek dodávky elektrické energie velké národohospodářské ztráty. Se zvyšujícím se časem dochází ke vzniku paniky, chaosu. Zvyšuje se taky trestná činnost (rabování, násilnosti apod.). [1]

4.2.1 Plán obnovy

Z výše uvedeného je jasné, že trvání poruchy je potřeba co nejvíce zkrátit. PPS, v našem případě ČEPS, má zpracovány tzv. plány obnovy napětí po blackoutu. Plán obnovy respektuje:

- technologii elektráren, jejich provozní možnosti a umístění v ES,
- možnost využití pomoci sousedních PPS.

PS ČR je se sousedními PS propojena několika přeshraničními vedeními. Jedná se o celkem:

- 11 vedení 400 kV,
- 6 vedení 220 kV.

Z výše uvedeného jsou patrné 2 možné strategie plánu obnovy:

- přivedení napětí z okolních soustav, které poruchou nebyly postiženy,
- obnovení napětí pomocí zdrojů na území ČR k tomu vhodných.

Vhodnější variantou je přivedení napětí ze sousední soustavy, a to z několika důvodů. Sousední soustava má oproti generátoru, který by měl startovat ze tmy, značné výhody. Jedná se zejména o vyšší stabilitu soustavy. Ta je důležitá pro spouštění velkých asynchronních motorů, které tvoří většinu pohonů vlastní spotřeby elektráren. Druhou nespornou výhodou je velmi pravděpodobně vyšší dostupný výkon, který může sousední soustava poskytnout. [1]

Obnovením napětí pomocí zdrojů na území ČR je primárně myšleno využití již existujícího ostrova před startem ze tmy.

4.2.2 Možnosti startu ze tmy

Způsobů startu ze tmy je několik. V současnosti jsou využívány zejména vodní a přečerpávací elektrárny. Je to z důvodu jejich nízké vlastní spotřeby a rychlosti najeť na jmenovitý výkon.

4.2.3 Priority po najeť

PPS ČR definuje následující priority:

- vlastní spotřeba jaderných elektráren,
- vlastní spotřeba systémových klasických elektráren,
- hlavní město Praha,
- velké městské aglomerace,
- ostatní spotřebitelé. [1]

5 Dostupná opatření pro řešení kontingencí v soustavě a jejich rozbor

Toky činných výkonů po vedení PS jsou důsledkem aktuálního zapojení soustavy, objemů a umístění zdrojů a spotřeby. Toky, zejména ty nepředvídané, mohou v určitých případech ohrožovat bezpečnost ES, proto je potřeba je regulovat. K tomu slouží různá technická opatření rozebrána v této kapitole.

5.1 Rozdělení opatření z hlediska času nasazení

- a) Preventivní – K výpadku ještě nedošlo. Opatření předchází nebezpečnému provoznímu stavu.
- b) Korektivní – K výpadku již došlo. Opatření má za úkol převést soustavu z výstražného do normálního stavu.

5.2 Výčet možných opatření

Výčet možných opatření níže má pouze informativní charakter. Rozbor jednotlivých opatření uvádím v následující kapitole.

- Omezení kapacit na profilech mající negativní dopad na kritický prvek PS
 - Omezení obchodování v Intraday – anulování zbytkových kapacit
- Zastavení IGCC a aFRR v příslušném směru (zkratky vysvětleny na počátku dokumentu)
- Rekonfigurace sítě PS
 - Zapnutí plánovaně vypnutého prvku PS
 - Vypnutí vedení PS
 - Úprava zapojení sítě (rozdělení provozu rozvodny na více přípojníc) tzv. rekonfigurace
 - Rekonfigurace v zahraničních rozvodnách – V zásadě totožné s bodem “úprava zapojení sítě” – pro dispečera ČEPS odlišné v tom, že opatření osobně není schopen provést.
- Rekonfigurace sítě ve spolupráci s PDS
 - Převedení výkonu mezi uzlovými oblastmi 110 kV (spotřeba nebo/i výroba)
 - Rozpojení paralelně pracujících uzlových oblastí 110 kV
- Regulace PST
- Redispečink
 - Interní
 - Mezinárodní
 - MRA – Redispečink mezi zahraničními PPS. Tzv. vícestranné koordinované opatření.

Všechna opatření musí být koordinovaná se sousedními PPS, pakliže na ně mají dopad. V případě negativního dopadu nemusí sousední PPS vždy vyhovět. [8]

5.3 Rozbor jednotlivých opatření

5.3.1 Omezení obchodování v Intraday

Dnešní doba se oproti době minulé vyznačuje výrazným zkrácením intervalů pro uzavírání kontraktů na výkup elektrické energie. Na tzv. vnitrodenním trhu lze obchodovat elektrickou energií v daný den (proto intraday). Tyto obchody probíhají regulovaně. Obzvláště co se přeshraničních kapacit týče, tyto se monitorují. Každý prvek má své technické limity a provozní omezení, které není možné překročit. V případě, že jsou uzavřenými kontrakty přeshraniční kapacity naplněny, další obchodování není povoleno.

5.3.2 Rekonfigurace sítě

Rekonfigurace obecně znamená jakoukoliv změnu topologie sítě. V zásadě se jedná o pozměnění impedanční mapy propojené soustavy, při které dochází ke změně toků výkonu. Je třeba mít na paměti, že rekonfigurace může zlepšit bezpečnostní situaci v žádaném místě, nicméně v místě jiném mohou být podmínky zhoršeny. Rekonfigurace má několik podtypů.

Rekonfiguraci lze rozdělit dle místa zásahu na 2 typy:

- Rekonfigurace PS – Jedná se o základní typy rekonfigurace, které má na starost PPS.
- Rekonfigurace DS – Existují opatření dostupná v DS, která je však nutno provádět ve spolupráci s PDS.

5.3.2.1 Zapnutí plánovaně vypnutého prvku PS, nebo nepovolení plánovaného vypnutí

PPS pravidelně provádí údržbové či jiné práce na svých vedeních. Údržby jsou zpravidla plánovány a vedení jsou tedy plánovaně vypnuta. V případech, kdy je to nutné, je možné plánované práce přerušit a plánovaně vypnutý prvek uvést zpět do provozu. Druhou možností může být vůbec plánované vypnutí nepovolit.

V těchto dvou konkrétních případech se jedná spíše o záložní varianty. Plán údržby se plánuje s předstihem a v koordinaci s dalšími údržbami. Pakliže je potřeba plánované odstavené vedení uvedeno zpět do provozu, plánovaná údržba musí být přesunuta. Pokud některé z prací na vedení provádějí externí společnosti, je zapotřebí domluvit nový termín prací a hrozí tak jejich opoždění.

5.3.2.2 Vypnutí vedení

V určitých situacích může být situace v síti taková, že i vypnutí ohroženého prvku může být nejvhodnější variantou z hlediska bezpečnosti. Výhodou opatření je rychlost a jednoduchost. Nevýhodou je snížení spolehlivosti PS. Obvykle se vypíná prvek s výrazně nižší přenosovou schopností než paralelně pracující prvky.

5.3.2.3 Převedení výkonu mezi uzlovými oblastmi 110 kV

V ČR jsou části DS provozovány až na výjimky odděleně v tzv. uzlových oblastech (dále UO). Pokud tomu tak není, je řeč o paralelním provozu několika oblastí.

To, že jsou UO provozovány odděleně, však neznamena, že není možné je mezi sebou vzájemně propojovat. Tuto variantu je vhodné použít zejména v případě, když je přetíženo vedení mezi dvěma oddělenými UO.

Příklad: U vedení spojujícího UO-1 a UO-2 vzniká nebezpečí přetížení se směrem toku výkonu z UO-1 do UO-2. Existuje předpoklad, že obě oblasti disponují určitou výrobou (zdroji) a spotřebou. Řešením tohoto konkrétního případu může být propojení obou UO na straně distribuce, poté přepojení

části zdrojů z UO-1 do UO-2, případně spotřeby z UO-2 do UO-1. Následně opět rozpojení těchto oblastí. V tomto důsledku dojde k poklesu výkonu, který je přenášen vedením PS, spojujícím tyto UO.

Variantu lze využít v omezeném množství případů. Jednak musí být v daném okamžiku dostupný výkon, který by bylo možné převést. Zároveň je nutné, aby dispečer disponoval dokonalou znalostí sítě, aby mohl dostatečně rychle posoudit, zdali je varianta v dané situaci použitelná.

Výhody:

- nízké náklady (jedná se o převedení výkonu, ale pouze rekonfigurací, nikoliv redispečinkem),
- rychlost.

Nevýhody:

- nutnost koordinace s PDS,
- lze aplikovat pouze v omezených případech.

5.3.2.4 Úprava zapojení sítě

Úpravou zapojení sítě je myšleno rozdělení provozu přípojníc v rozvodně. V tzv. základním zapojení je obvykle rozvodna provozována na dvou přípojnících se sepnutým SP (nebo KSP).

Fyzicky je v rozvodně přípojníc více. V rozvodnách PS ČR se jedná o 2 přípojnice (v zahraničí i více), na kterých je veden provoz a k tomu se obvykle v rozvodně nachází tzv. pomocná přípojnice. Přípojnice, na kterých jsou vyvedeny veškeré vývody, jsou obvykle v základním zapojení spojeny přes SP (nebo KSP). Jednotlivá vývodová pole z rozvodny nemusí být technicky zapojeny na společnou přípojnici, pakliže jsou však přípojnice v daném okamžiku spojeny, hovoříme o provozu rozvodny na dvou přípojnících se sepnutým SP (nebo KSP).

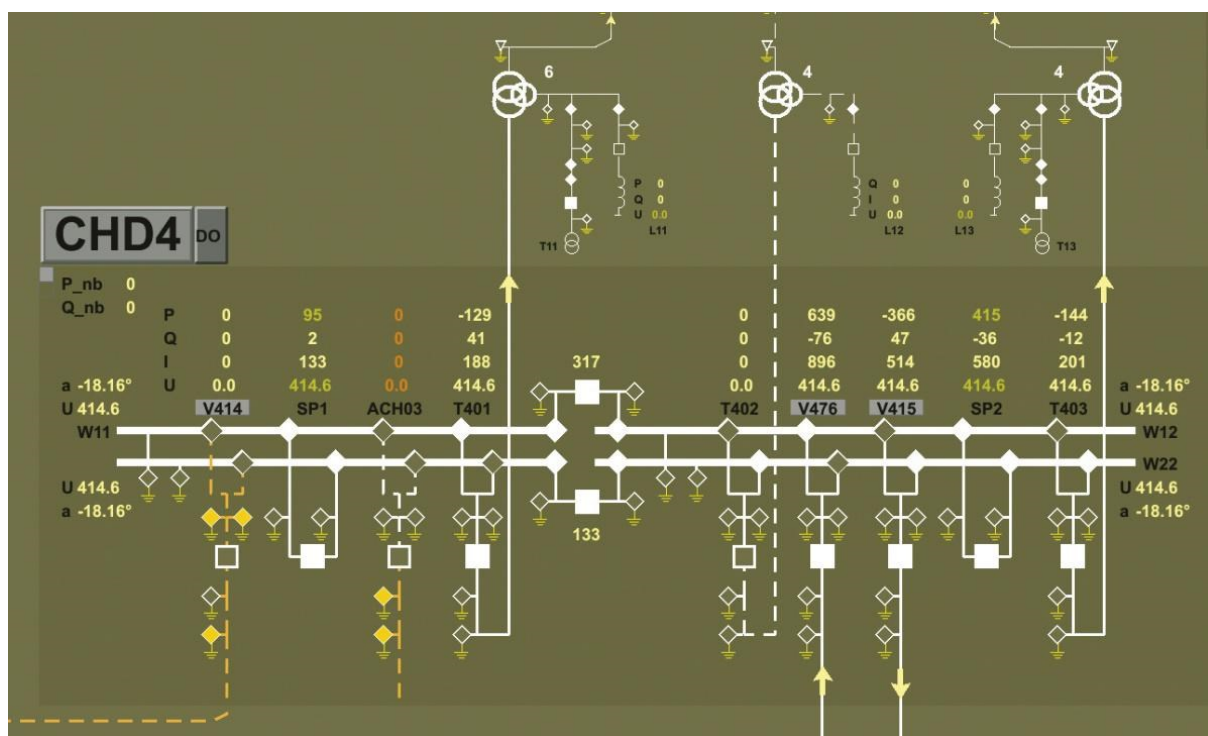
Rozepnutím SP, a tedy rozdělením provozu přípojníc v rozvodně, a vhodným rozdělením jednotlivých vývodů mezi přípojnice lze dosáhnout úpravy toku činného výkonu v síti.

Výhody:

- rychlost.

Nevýhody:

- snížení spolehlivosti,
- zvýšení přenosových ztrát,
- potenciální nemožnost zpětného sepnutí rozdělených částí soustavy kvůli překročení povoleného spínacího úhlu.



Obrázek 5.1 - Schéma rozvodny 400 kV – Chodov [5]

Na obrázku 5.1 je možné vidět topologické schéma rozvodny Chodov (400 kV). Z obrázku je patrné, že rozvodna Chodov disponuje dvěma přípojnícemi W11 (W12) a W21 (W22). Kromě v daném okamžiku sepnutých příčných spínačů přípojníc (označených jako SP1 a SP2), má každá z přípojníc také podélný spínač přípojníc. Bílou barvou vybarvené prvky (vypínače a odpojovače) znázorňují sepnutý stav. Situace tedy znázorňuje provoz na dvou přípojnících se sepnutými SP.

5.3.2.5 Rozpojení paralelně pracujících uzlových oblastí 110 kV

Většina sítí napěťové hladiny 110 kV v DS je provozována odděleně v samostatně pracujících UO. Každá z těchto UO má svou vlastní vazbu na PS. Vazba je tvořena jedním, dvěma nebo třemi transformátory 400/110 kV či 220/110 kV. Způsob provozu závisí na technických možnostech PS a DS a dohodě obou provozovatelů. Pouze v určitých místech v soustavě, kde je to žádoucí, dochází k tzv. paralelnímu provozu UO. Nese totiž s sebou riziko zvýšení přetoků jalových výkonů. Paralelní provoz se tedy používá ojediněle v několika oblastech, zejména při požadavku zajištění napájení velkých odběratelů ze sítě 110 kV.

V případě přetoků výkonu tedy může být rozpojení paralelně pracujících UO vhodnou volbou. [18]

5.3.2.6 Rekonfigurace v zahraničních rozvodnách

Po technické stránce se jedná o stejné opatření jako v případě dříve zmíněných typů rekonfigurací. Rekonfigurace v zahraničí však v mnoha případech může mít příznivý dopad na prvky v PS ČR.

Dispečer ČEPS nedisponuje možností ovládat prvky sousedních PS. Pokud ze svého pohledu vyhodnotí situaci tak, že rekonfigurace v zahraniční rozvodně je vhodnou volbou, musí kontaktovat zahraničního PPS a opatření s ním koordinovat. Rekonfigurace v zahraniční rozvodně může mít, i přes příznivý dopad na prvek v PS ČR, nepříznivý dopad na prvek v zahraniční PS. Proto nemusí sousední PPS návrhu vždy vyhovět.

5.3.3 Regulace PST

Zařízení vhodné pro regulaci toků činných výkonů se nazývá Phase shifting transformer (PST) – Transformátor s řízeným posuvem fáze napětí. Jeho princip vysvětlují v kapitole 2.3.1.

Výhody:

- rychlost,
- spolehlivost.

Nevýhody:

- cena pořízení,
- je nutná koordinace se zahraničním PPS.

5.3.4 Redispečink

Redispečinkem se rozumí opatření, aktivované jedním nebo více PPS, při kterém dochází k přerozdělení zdrojů, za cílem změny výkonových toků v ES a snížení nebezpečí přetížení nebo obecně zvýšení bezpečnosti soustavy. Může dojít také k omezování zdrojů.

Přerozdělení výkonu zdrojů provádí dispečer na základě analýzy stavu sítě aktivací regulačního výkonu, který je smluvně zajištěn s výrobcí.

Základní rozdělení dle nařízení Evropského parlamentu [19]

- tržní,
- netržní.

Dle nařízení musí být redispečink otevřen všem zdrojům, akumulacím a jiným subjektům na straně poptávky, pokud je to technicky proveditelné.

Prioritně je kladen důraz na využití tržního redispečinku, v jehož případě jsou poskytovatelé služby vybíráni tržním mechanismem a za službu obdržují náhradu.

Naproti tomu netržní redispečink by měl být využit až v případě vyčerpání všech dostupných tržních alternativ. Pokud k tomuto dojde, musí být výrobcům uhrazen ušlý zisk, provozní náklady nebo kombinace obojího.

Zároveň platí následující podmínky:

- Zdroje využívající energii z OZE a procesy účinné kombinované výroby elektřiny a tepla (KVET) mohou být předmětem redispečinku ke snížení výkonu, pouze pokud neexistuje jiná varianta, případně pokud by mohlo dojít ke zvýšenému riziku pro bezpečnost ES, nebo by při jiné alternativě došlo k nepřiměřeným nákladům.
- Provozovatelům těchto zařízení náleží kompenzace ze strany PPS, jenž redispečink požaduje.

S činností redispečinku plynou PPS či PDS povinnosti vůči příslušným regulačním orgánům. Alespoň jednou ročně musí poskytnout:

- zprávu o účinnosti tržních mechanismů pro redispečink,
- důvody a objemy redispečinku,
- typy zdrojů výroby, které jsou předmětem redispečinku,
- opatření, která byla přijata za účelem snížení potřeby redispečinku. [19]

Rozdělení redispečinku dle oblasti působnosti

- Interní – V případě interního redispečinku dochází ke změnám objemů ve výrobě pouze na území daného státu. V takovém případě náklady hradí PPS daného státu.
- Mezinárodní – Zde dochází ke změnám objemů ve výrobě mezi alespoň dvěma státy. Hrazení nákladů se odvíjí od toho, na jakém prvku v soustavě je problém. Pokud se jedná o společný prvek, náklady se sdílí. Pokud se jedná o vnitřní prvek, náklady hradí stát, který redispečink vyžaduje. Mezinárodní redispečink mění saldo.

5.3.4.1 Countertrade (CT) – protiobchod

CT rozumíme speciální případ redispečinku. PPS má možnost nakoupit elektrickou energii přímo na trhu.

Výhody:

- vyšší likvidita,
- potenciálně nižší náklady z důvodu větší konkurence.

Nevýhody:

- V zásadě nelze dopředu znát konečná účinnost. Elektrárna, která se nachází od problémového prvku dále, má na problém mnohem menší vliv.
- Hrozí negativní vliv v případě parazitních toků.

5.3.5 MRA – vícestranné koordinované opatření

Speciální případ redispečinku, který lze nejjednodušeji vysvětlit na konkrétní situaci.

Příklad: PPS-2 má ve své soustavě problém. Nedisponuje elektrárnami, ve kterých by mohl zvýšit výrobu, ani elektrárnami, kde by mohl výrobu snížit. Vyčerpá všechna další možná opatření. Přesto by provozovateli vyhovovalo přesunout výrobu.

U partnerů PPS-1 a PPS-3 musí zjistit, zdali tito provozovatelé disponují elektrárnami, kde jsou schopni výrobu na jedné straně zvýšit a na straně druhé snížit.

Pokud je u PPS-3 elektrárna, kde by šlo výrobu zvýšit, a zároveň na straně PPS-1 elektrárna, kde by šlo výrobu snížit, pak PPS-2 může tuto službu (zvýšení/snížení výroby) u partnerů objednat. Výroba v propojené soustavě se nezmění, fyzicky však dojde k přesunu výroby blíže ke spotřebě a tok činného výkonu procházející PS PPS-2 se sníží.

Vzhledem k tomu, že je požadavek kladen ze strany PPS-2 a soustava je v normálním stavu, musí oběma partnerům za poskytnutí této služby zaplatit (jak za zvýšení výroby, tak za snížení).

Koordinace probíhá přes TSCNET. PPS detekuje hrozbu, požádá o součinnost partnery. V praxi je možné sdílení nákladů na opatření, pakliže je výhodné pro více PPS.

Výhody:

- velmi efektivní nástroj,
- snížení ztrát v ES.

Nevýhody:

- složité na dojednání (koordinace),
- složité na výpočet.
- Není to okamžité řešení – doba aktivace se pohybuje kolem 2 hodin. V reálném čase se tedy až na výjimky neprovádí.
- Vyšší objem energie. Od problémového prvku jsou elektrárny dále a v síti existuje spousta parazitních toků. Z provozního scénáře II. této diplomové práce vyplývá, že v tomto konkrétním scénáři bylo pro dosažení stejného výsledku potřeba přesunout výrobu o celkovém činném výkonu 1000 MW (v případě MRA) oproti 200 MW v případě interního redispečinku v rámci ČR.
- Z vyšších objemů energie vyplývají také větší objemy peněz.

6 Nástroje pro analýzu zabezpečení provozu v reálném čase

Nástrojem pro analýzu zabezpečení provozu v reálném čase je v ČEPS software instalovaný v dispečerském řídicím systému TRISQ. Tento software je schopen pomocí sběru a vyhodnocení dat a výpočtů analyzovat provozní stav nad modelem sítě v reálném čase.

Pro značnou složitost a možnosti softwaru v dalších podkapitolách stručně popisují pouze 2 základní výpočetní techniky, které jsou zásadní pro zpracování praktické části diplomové práce.

6.1 Loadflow (LF)

Prvním výpočtem, kterým software disponuje, je tzv. loadflow (LF). Software je schopen v reálném čase na základě vstupních dat počítat různé veličiny nad celou OA. Jedná se mj. o činný a jalový výkon, proud, napětí, fázový posuv a ztráty. Na základě těchto výpočtů sledují zejména toky činného výkonu v pozorovatelné oblasti.

6.2 Kontingenční analýza (KAN)

Smysl KAN spočívá v tom, že dispečer má na základě jejích výsledků informaci, které kontingence v reálném čase způsobují narušení kritéria N-1 na některém z monitorovaných prvků soustavy. Výsledky kontingenční analýzy jsou zobrazeny daty v tabulce. Tabulka 6.1 znázorňuje příklad výsledků KAN i s vysvětlivkami.

Tabulka 6.1 - Příklad výsledků KAN [12]

Kontingence	N-1 (A)	Přes N-1 (A)	N-1 (%)	N-0 (A)	N-0 (%)	Rozdíl (A)	Rozdíl (%)	Zařízení
C:V430:1	2550.6	150.6	106.3	2012.3	83.8	538.3	22.4	C:V420:1
C:V431:1	2484.2	84.2	103.5	2012.3	83.8	471.8	19.7	C:V420:1
C:V420:1	2457.4	57.4	102.4	1554.9	64.8	902.5	37.6	C:V430:1
C:V450:1	2007.3	7.3	100.4	1114.3	55.7	893.1	44.7	C:V454:1
C:V433:1	2347.9	0	97.8	1590.3	66.3	757.6	31.6	C:V422:1

6.2.1 Obecné vysvětlení dat prezentovaných v tabulkách výsledků KAN

Kontingence

- Výpadek definovaného prvku v síti.

Zařízení

- Monitorovaný prvek, který je danou kontingencí ovlivněn.

N-1 %

- Nejdůležitější parametr kontingenční analýzy. Udává (ne)dovolené procentuální zatížení zařízení ovlivněného kontingencí.

N-1

- Udává zatížení zařízení ovlivněného kontingencí v absolutní hodnotě proudu (A).

Přes N-1

- Udává překročení dovoleného zatížení prvku v absolutní hodnotě proudu (A).

N-0 %

- Udává dovolené procentuální zatížení zařízení před kontingencí (tedy aktuální).

N-0

- Udává aktuální zatížení zařízení v absolutní hodnotě proudu (A).

Rozdíl %

- Udává procentuální změnu zatížení po kontingenci.

Rozdíl

- Udává absolutní změnu zatížení po kontingenci v absolutní hodnotě proudu (A).

7 Výběr vhodných scénářů, jejich případná modifikace, aplikace vybraných opatření a jejich vyhodnocení

Pro praktickou část diplomové práce po konzultaci se zástupci firmy ČEPS, a.s. vybírám postupně 3 provozní scénáře. Ty následně řádně vyhodnocuji z hlediska limitů provozní bezpečnosti, aplikuji na ně různá opatření a ta hodnotím.

Pro potřeby diplomové práce zavádím zjednodušující předpoklady:

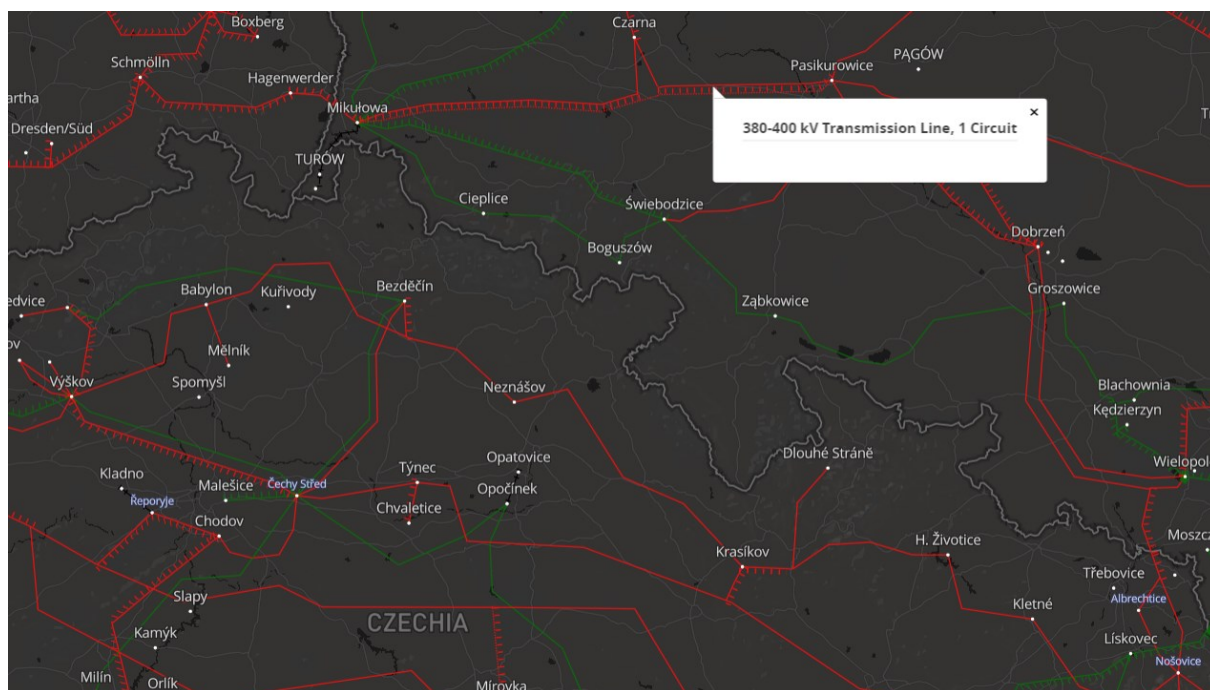
- Elektrárny jsou pro potřeby redispečinku dostupné – horká/studená záloha.
- Výkony zdrojů je možné měnit v rozsahu P_{min} – jmenovitý činný výkon.
- Velikost zátěže nelze měnit.
- Všechna vedení, která jsou v počátečním provozním stavu vypnuta, jsou vypnuta z důvodu údržbových prací a v případě potřeby je možné jejich zapnutí.
- Pro řízení zdrojů (redispečink) neexistují smluvní ani finanční omezení.
- Dispečer partnerského PPS na žádost vždy přistoupí.

V následující části práce je sledováno narušení kritéria N-1 pouze ve vztahu k proudovému zatížení monitorovaných prvků. Kritérium N-1 v otázce napětí a vzniku ostrova po konzultaci se zástupci ČEPS neuvažuji.

7.1 Provozní scénář I. ze dne 19.11.2020 – čas 14:05

7.1.1 Modifikace

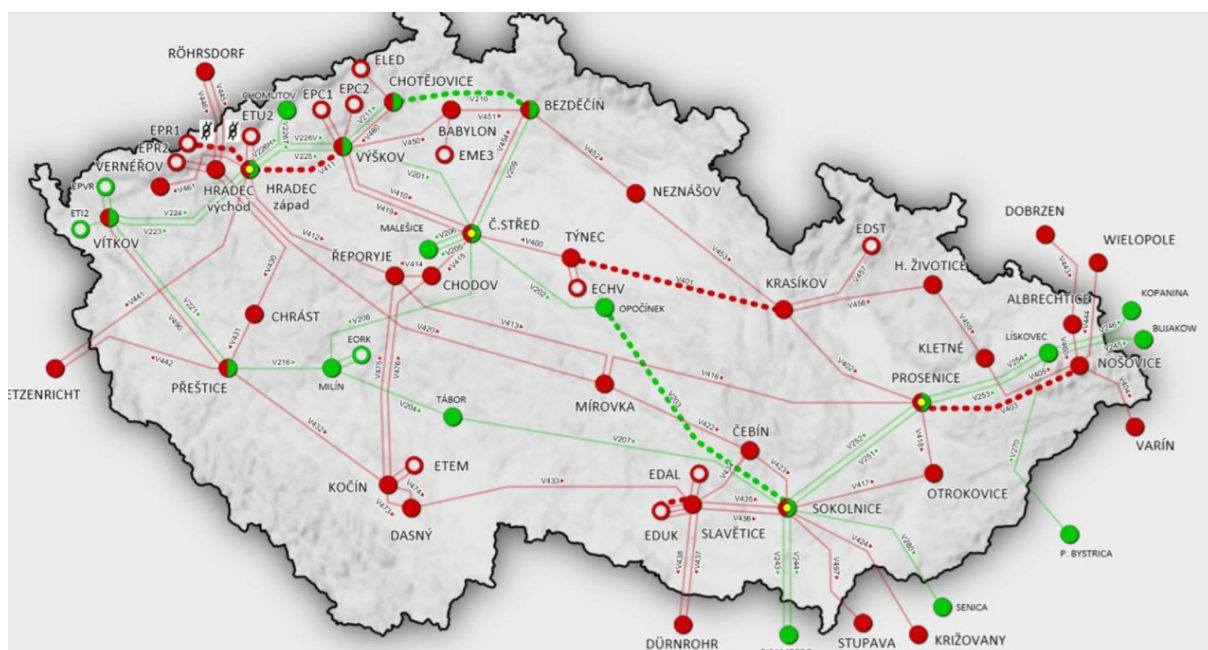
Ve spolupráci s pracovníkem ČEPS provozní situaci upravují o vypnutí polské linky V401 mezi rozvodnami Pasikurowice a Czarna – z důvodu údržbových prací. Pozice polského vedení V401 je vyznačena na obrázku 7.1. Odbočky na PST v rozvodně Hradec, jež jsou zapojeny na vedení vedoucí do rozvodny Röhrsdorf (V445, V446), jsou nastaveny na pozici -4. Zavádím předpoklad odchylky od přípravy provozu.



Obrázek 7.1 - Pozice polského vedení s označením V401 [20]

7.1.2 Analýza provozní situace

Základní topologie provozní situace je patrná z obrázku 7.2. Z modelu soustavy je patrné, že síť je oslabena, a to kvůli plánovaným údržbovým pracím na vedeních. Mimo provoz jsou vedení V401, V403 a V411 na napěťové hladině 400 kV a také V203 a V210 na napěťové hladině 220 kV.



Obrázek 7.2 - Základní topologie PS ČR provozního scénáře I. [27]

Tabulka 7.1 znázorňuje stávající výsledky KAN.

Tabulka 7.1 - Výsledky KAN v původním stavu – provozní scénář I. [12]

Kontingence	N-1 (A)	Přes N-1 (A)	N-1 (%)	N-0 (A)	N-0 (%)	Rozdíl (A)	Rozdíl (%)	Zařízení
C:V430:1	2550.6	150.6	106.3	2012.3	83.8	538.3	22.4	C:V420:1
C:V431:1	2484.2	84.2	103.5	2012.3	83.8	471.8	19.7	C:V420:1
C:V420:1	2457.4	57.4	102.4	1554.9	64.8	902.5	37.6	C:V430:1
C:V450:1	2007.3	7.3	100.4	1114.3	55.7	893.1	44.7	C:V454:1
C:V433:1	2347.9	0	97.8	1590.3	66.3	757.6	31.6	C:V422:1
C:V451:1	1915.7	0	95.8	1114.3	55.7	801.5	40.1	C:V454:1
C:V413:1	2253.0	0	93.9	2012.3	83.8	240.6	10.0	C:V420:1
C:V452:1	843.3	0	93.7	624.5	69.4	218.8	24.3	C:V204:1
C:V432_Mul	2184.3	0	91.0	2012.3	83.8	172.0	7.2	C:V420:1
C:V432:1	2184.3	0	91.0	2012.3	83.8	172.0	7.2	C:V420:1
C:V446:1	2163.2	0	90.1	1323.5	55.1	839.7	35.0	C:V445:1
C:V445:1	2162.7	0	90.1	1321.6	55.1	841.1	35.0	C:V446:1
C:V474:1	2160.9	0	90.0	1246.9	52.0	914.1	38.1	C:V473:1

Čtení dat z tabulky názorně vysvětlují na prvním řádku. Tento řádek nám říká, že případná kontingence vedení označeného jako C:V430:1 zapříčiní zatížení zařízení C:V420:1 na 106,3 %, tedy dojde k překročení dovoleného zatížení. Tento stav je nepřijatelný.

Z výsledků KAN je patrné, že nejvíce ohroženým prvkem je vedení V420, neboť je již v počátku zatíženo na 83,8 % dovoleného zatížení. Zcela nepřijatelnými jsou kontingence vedení V430 a V431, které by zapříčinily překročení dovoleného zatížení V420. Jelikož vliv V430 a V420 je vzájemný, nepřijatelná je i kontingence V420, neboť při té by došlo k přetížení V430).

Pro pochopení provozní situace jsou důležité následující body:

- V420 a V430 jsou odchozí vedení z rozvodny HRD4 (Hradec – východ).
- V420 z Hradce do rozvodny Havlíčkův Brod – Mírovka je zatíženo činným výkonem 1392 MW.
- V430 z Hradce do rozvodny Chrást je zatíženo činným výkonem 1088 MW.
- Vedení na česko-německém profilu (V445 a V446) přenášejí z rozvodny Röhrsdorf do rozvodny Hradec – východ dohromady 1853 MW.
- V provozu jsou všechny 3 bloky elektrárny Prunéřov 2 (EPR2) – celkový příspěvek 629 MW do rozvodny Hradec – východ.

Z výše uvedených skutečností je patrné, že je potřeba snížit činný výkon přenášený skrze rozvodnu Hradec – východ. Nabízejí se proto dvě řešení.

- Potlačení přítoku z Německa pomocí použití PST.
- Přesunutí části výroby ať už v rámci ČR či v zahraničí – redispečink.

7.1.3 Řešení

7.1.3.1 Změna odboček PST v rozvodně Hradec – východ

Snížit zatížení V420 a V430 je možné využitím PST. Pro danou situaci navrhuji změnu zapojení PST odboček ze stávajících -4 na -15. Po tomto přenastavení se zatížení V445 a V446 z Německa sníží z původních 1853 MW na 1479 MW.

Vedení V420 je po tomto opatření zatíženo místo původními 1392 MW již pouze 1266 MW (pokles o 126 MW). V případě V430 se jedná o snížení zatížení z 1088 MW na 840 MW (pokles o 248 MW). V důsledku snížení výkonového příspěvku do rozvodny Hradec z Německa se sníží i činný výkon přenášený z rozvodny dále. Výsledky KAN po opatření obsahuje tabulka 7.2.

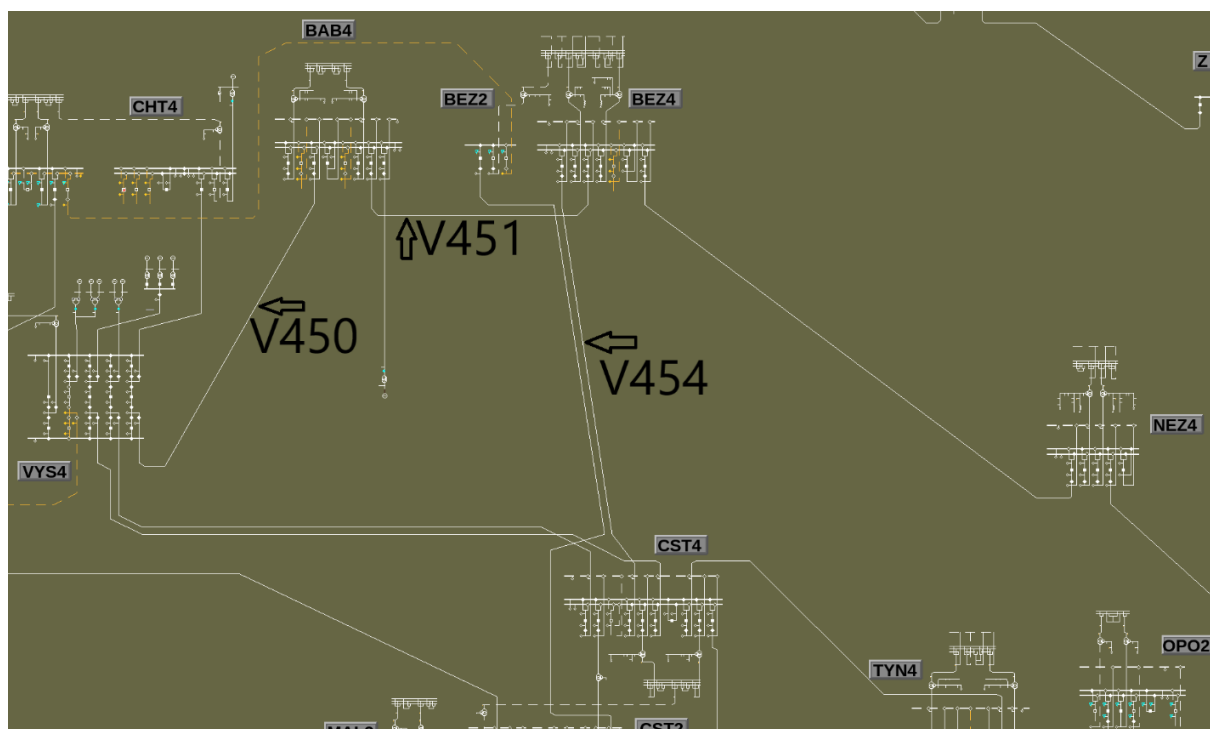
Tabulka 7.2 - Výsledky KAN po změně odboček PST – provozní scénář I. [12]

Kontingence	N-1 (A)	Přes N-1 (A)	N-1 (%)	N-0 (A)	N-0 (%)	Rozdíl (A)	Rozdíl (%)	Zařízení
C:V450:1	1977.3	0	98.9	1091.8	54.6	885.6	44.3	C:V454:1
C:V451:1	1885.5	0	94.3	1091.8	54.6	793.8	39.7	C:V454:1
C:V433:1	2218.2	0	92.4	1481.7	61.7	736.5	30.7	C:V422:1
C:V452:1	828.1	0	92.0	615.6	68.4	212.5	23.6	C:V204:1
C:V430:1	2206.8	0	92.0	1793.1	74.7	413.7	17.2	C:V420:1
C:V431:1	2134.9	0	89.0	1793.1	74.7	341.8	14.2	C:V420:1
C:V474:1	2107.3	0	87.8	1216.2	50.7	891.1	37.1	C:V473:1
C:V221:1	755.1	0	87.5	349.7	40.5	405.4	47.0	C:V208:1
C:V473_Mul	2057.1	0	85.7	1036.6	43.2	1020.5	42.5	C:V474:1
C:V473:1	2057.1	0	85.7	1036.6	43.2	1020.5	42.5	C:V474:1
C:V453:1	771.0	0	85.7	615.6	68.4	155.4	17.3	C:V204:1
C:V413:1	2046.1	0	85.3	1793.1	74.7	253.0	10.1	C:V420:1
C:V420:1	2003.3	0	83.5	1185.9	49.4	817.5	34.1	C:V430:1
C:V432_Mul	1938.1	0	80.8	1793.1	74.7	145.0	6.0	C:V420:1
C:V432:1	1938.1	0	80.8	1793.1	74.7	145.0	6.0	C:V420:1

Z výsledků lze vidět, že poklesem přenášeného výkonu na linkách V420 a V430 došlo ke snížení jejich vzájemného vlivu v případě kontingencí. Zeleně podbarvené řádky označují kontingence, které ovlivňují právě vedení V420 a V430. Plnění kritéria N-1 v této oblasti je zabezpečeno.

Jelikož při aplikování tohoto opatření nedochází ke změně místa výroby ani spotřeby elektrické energie, činný výkon, který je regulován změnou odboček PST, si cestu ke konečné spotřebě přirozeně najde jinudy. Pokud se jedná o směr toku činného výkonu z Německa na jihovýchod, lze očekávat, že se po regulaci na česko-německém profilu, tok činného výkonu přesune z části na jih Německa a z části do Polska přes tato přeshraniční vedení – V567, V568 mezi rozvodnami Hagenwerder (D8 HGW4) a Mikulowa (Z MIK4) na jihu německo-polské hranice a na severu této hranice vedeními V507 a V508 mezi rozvodnami Vierraden (D8 VIR4) a Krajnik (Z KRA4). Z výsledků KAN je však patrné, že zahraniční vedení tímto opatřením ohrožena nejsou.

Dochází také k mírnému zlepšení výsledků KAN u vedení V450 a V451 na V454. Vliv je nepatrný, dochází ke zlepšení pouze o 1,5 % v obou případech. Tyto kontingence se po provedení opatření stávají nejvýznamnějšími. V450 je vedením mezi rozvodnami Výškov a Babylon, V451 je vedením mezi rozvodnami Babylon a Bezděčín a V454 vedením mezi rozvodnami Čechy-střed a Bezděčín. Na obrázku 7.3 přibližují celkovou situaci.



Obrázek 7.3 - Detailní situace u vedení V450, V451 a V454 [12]

7.1.3.2 Redispečink – Severní Čechy – Severní Morava

Druhou možností, jak lze řešit narušení kritéria N-1 v rozvodně Hradec (V420, V430) je využitím redispečinku. Tok činného výkonu v soustavě má jihovýchodní směr. Do rozvodny Hradec, kromě dodávky z Německa, dodávají také tři výrobní bloky elektrárny Prunéřov 2. Celkem se jedná o výkon ve výrobě – 695 MW.

Situaci řeším následujícím způsobem. Převedení činného výkonu 450 MW ze severu Čech na sever Moravy. Elektrárna Dětmorovice má v tuto chvíli v činnosti pouze jeden blok s aktuální výrobou 152 MW). Vzhledem k problémům jak v rozvodně Hradec (V420, V430), tak Výškov

(V450,V451) navrhuji snížení výroby o 250 MW v elektrárně Prunéřov 2 a snížení výroby o 200 MW v elektrárně Počerady. V elektrárně Dětmárovice na severu Moravy, která dodává do sítě o napěťové hladině 110 kV, celý tento činný výkon (450 MW) zvyšují.

Tabulka 7.3 - Výsledky KAN po redispečinku – provozní scénář I. [12]

Kontingence	N-1 (A)	Přes N-1 (A)	N-1 (%)	N-0 (A)	N-0 (%)	Rozdíl (A)	Rozdíl (%)	Zařízení
C:V420:1	2194.4	194.4	109.7	1334.3	66.7	860.1	43.0	C:CHR:4:nKSP
C:V430:1	2429.0	29.0	101.2	1920.9	80.0	508.1	21.2	C:V420:1
D2:V457:1	451.7	1.7	100.4	184.6	41.0	267.1	59.4	D2:ETZ:T421
C:V450:1	345.5	0	98.7	242.4	69.3	103.1	29.5	C:VYS:T402
C:V431:1	2356.7	0	98.2	1920.9	80.0	435.8	18.2	C:V420:1
C:V418:1	486.1	0	97.0	360.2	71.9	125.9	25.1	C:PRN:T401
C:V446:1	2317.6	0	96.6	1420.1	59.2	897.5	37.4	C:V445:1
C:V445:1	2317.5	0	96.6	1418.9	59.1	898.6	37.4	C:V446:1
C:V452:1	328.9	0	94.0	242.4	69.3	86.5	24.7	C:VYS:T402
C:V433:1	2224.9	0	92.7	1505.2	62.7	719.8	30.0	C:V422:1
C:V458:1	450.0	0	89.8	360.2	71.9	89.8	17.9	C:PRN:T401
C:V413:1	2142.6	0	89.3	1920.9	80.0	221.7	9.2	C:V420:1
C:V459:1	443.7	0	88.6	360.2	71.9	83.5	16.7	C:PRN:T401
C:V422:1	443.1	0	88.4	360.2	71.9	82.9	16.5	C:PRN:T401
C:V451:1	1765.4	0	88.3	1041.3	52.1	724.1	36.2	C:V454:1
C:V461:1	308.0	0	88.0	242.4	69.3	65.6	18.7	C:VYS:T402
C:V453:1	305.1	0	87.2	242.4	69.3	62.7	17.9	C:VYS:T402

Výsledky KAN v tabulce 7.3 naznačují, že provedený redispečink není dostatečně účinný. Po analýze provozního stavu jsem zjistil, že poměry v soustavě se změnily natolik, že se přirozeně zvýšil tok činného výkonu z Německa po V445 a V446 téměř o 130 MW (z původních 1853 MW na 1980 MW). Pro viditelný vliv opatření redispečinku přenastavuji odbočky PST z -4 na -8, a to z důvodu snížení toku činného výkonu na profilu na hodnotu nejbližší hodnotě původní. Hodnota toku činného výkonu na profilu Röhrsdorf-Hradec je po přenastavení odboček rovna 1848 MW. Odchylka je minimální. Ve výsledcích KAN v tabulce 7.4 je již viditelné zlepšení celé situace.

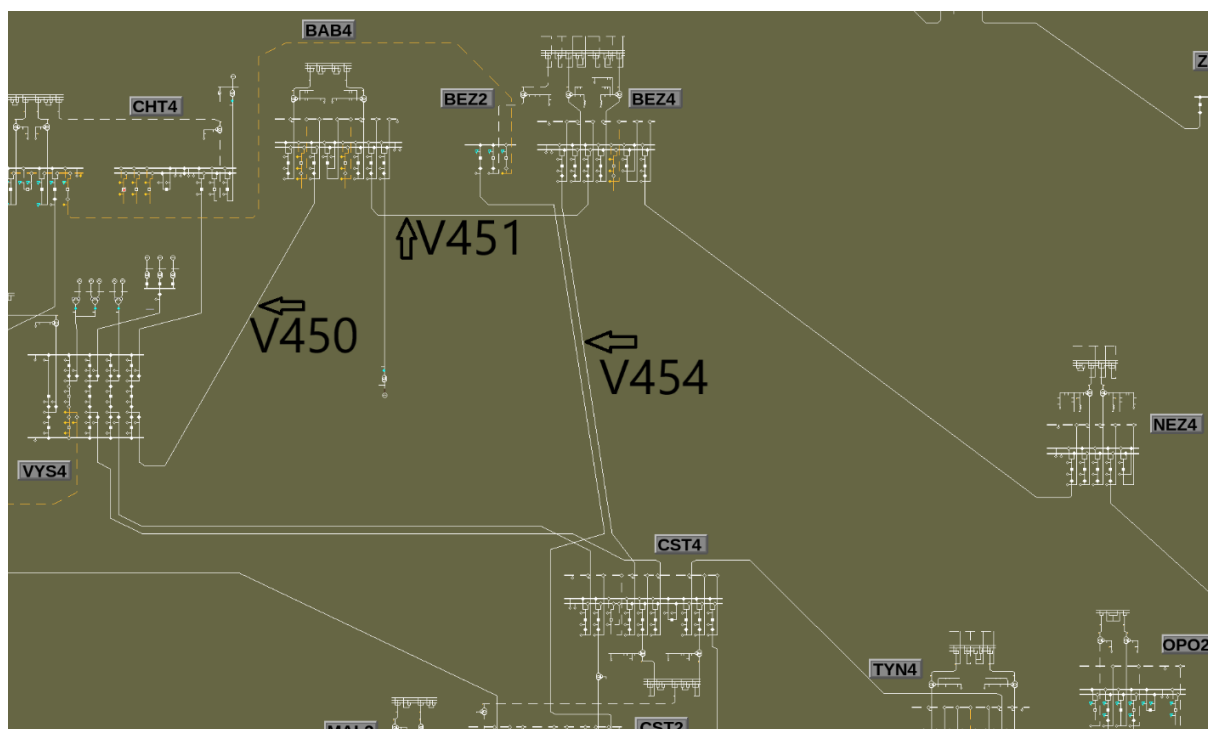
Z výsledků je patrné, že provedený redispečink v kombinaci s udržením konstantního toku na profilu Německo-ČR je funkční. Stav v situaci je stabilizovaný, redispečink nezpůsobil narušení kritéria N-1 v jiné části sítě.

Tabulka 7.4 - Výsledky KAN po redistribučku a přenastavení odboček PST – provozní scénář I. [12]

Kontingence	N-1 (A)	Přes N-1 (A)	N-1 (%)	N-0 (A)	N-0 (%)	Rozdíl (A)	Rozdíl (%)	Zařízení
C:V430:1	2304.5	0	96.0	1841.2	76.7	463.3	19.3	C:V420:1
C:V431:1	2232.5	0	93.0	1841.2	76.7	391.3	16.3	C:V420:1
C:V450:1	1854.6	0	92.7	1033.3	51.7	821.3	41.1	C:V454:1
D2:V457:1	1058.3	0	92.1	429.1	37.3	629.1	54.8	D2:V248:1
C:V433:1	2178.6	0	90.8	1466.6	61.1	712.0	29.7	C:V422:1
C:V420:1	2174.8	0	90.6	1344.6	56.0	830.2	34.6	C:V430:1
C:V446:1	2150.3	0	89.6	1319.1	55.0	831.2	34.6	C:V445:1
C:V445:1	2147.5	0	89.5	1313.3	54.7	834.1	34.8	C:V446:1
C:V451:1	1754.7	0	87.7	1033.3	51.7	721.4	36.1	C:V454:1
C:V452:1	782.3	0	86.9	588.7	65.4	193.6	21.5	C:V204:1
D2:V413:1	2895.6	0	86.9	2021.6	60.7	874.1	26.2	D2:V414:1
D2:V414:1	2893.4	0	86.8	2015.4	60.5	878.0	26.3	D2:V413:1
C:V413:1	2067.8	0	86.2	1841.2	76.7	226.6	9.4	C:V420:1
C:V474:1	2056.4	0	85.7	1187.0	49.5	869.5	36.2	C:V473:1
C:V221:1	729.7	0	84.6	331.5	38.4	398.1	46.1	C:V208:1
C:V473_Mul	2007.3	0	83.6	1011.5	42.1	995.8	41.5	C:V474:1
C:V473:1	2007.3	0	83.6	1011.5	42.1	995.8	41.5	C:V474:1

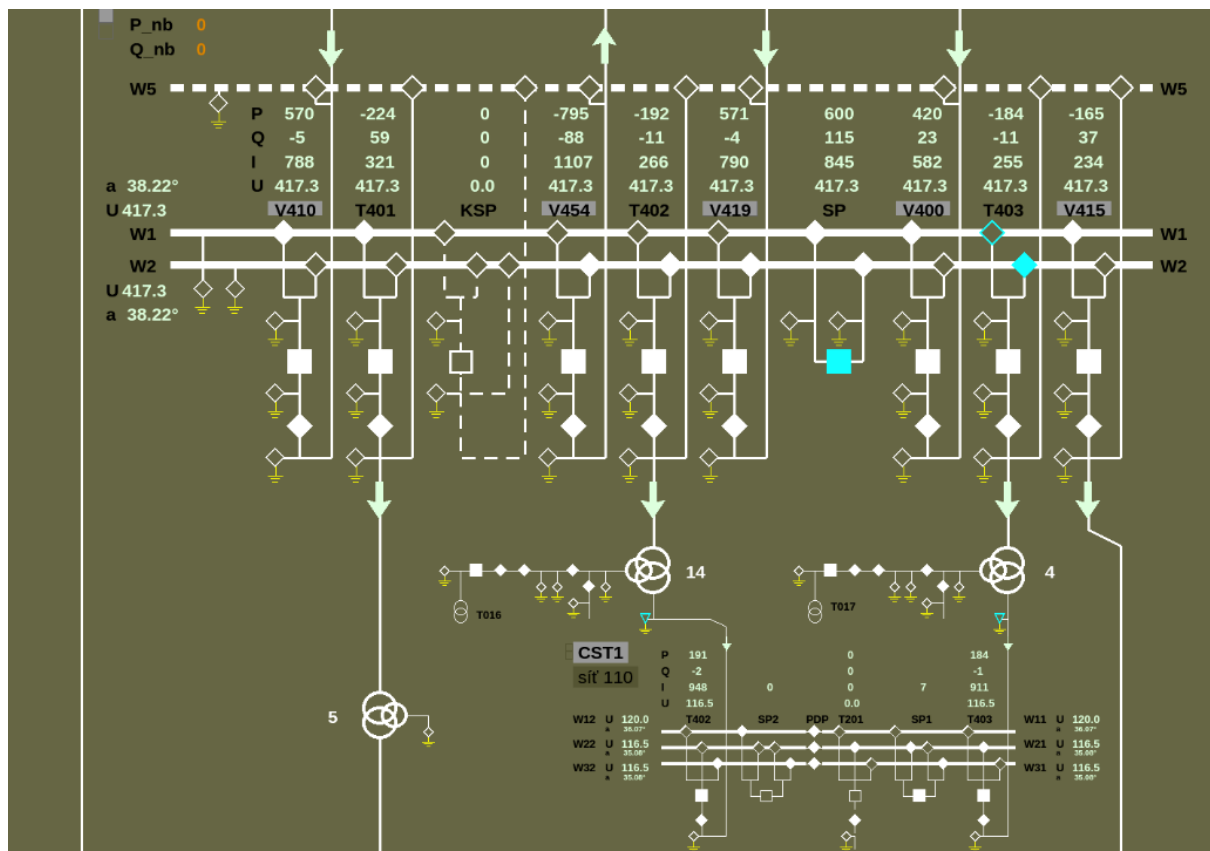
7.1.3.3 Rekonfigurace v rozvodně Čechy-střed

Za narušení kritéria N-1 mohou převážně přetoky činného výkonu směrem na jihovýchod, nicméně minimálně v případě vedení V454 by bylo možné využít také rekonfigurace.

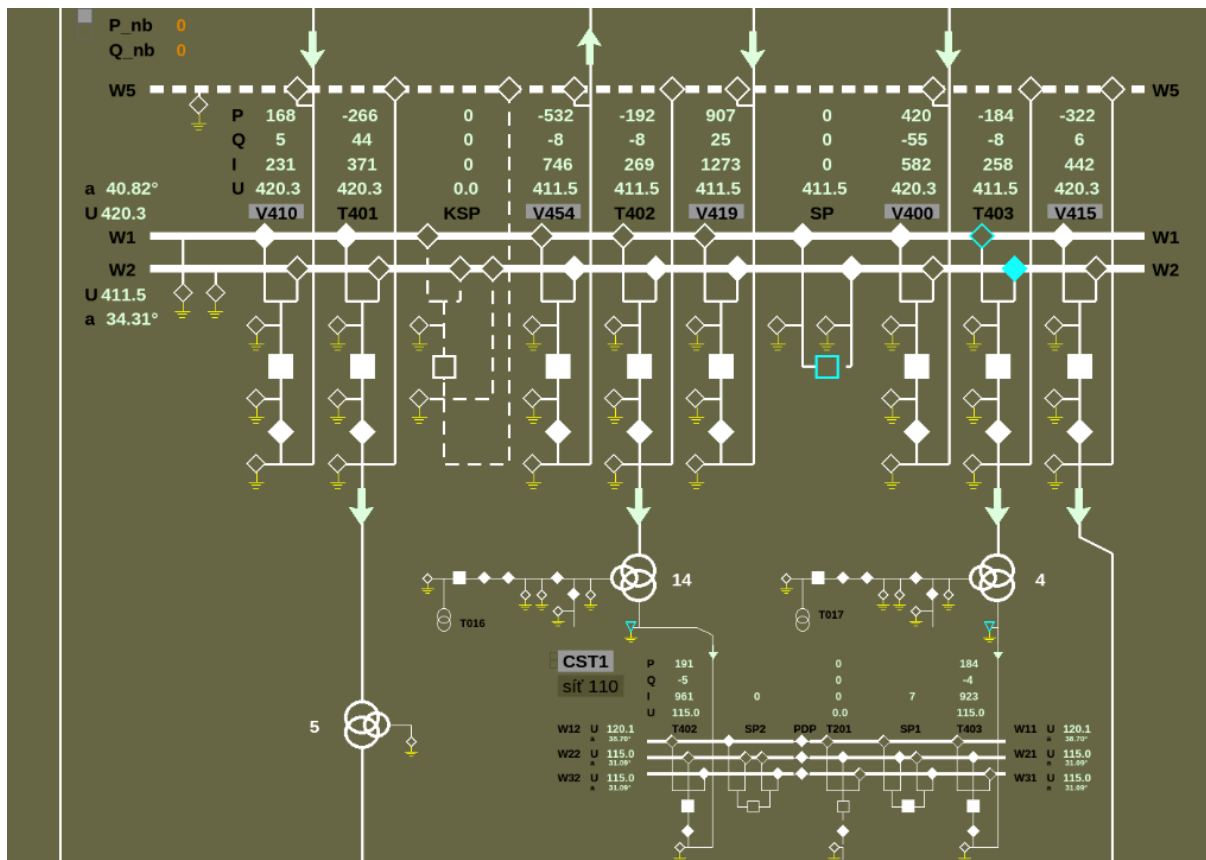


Obrázek 7.4 - Detail oblasti vedení V450, V451 a V454 [12]

Závažnými kontingencemi jsou V450/V454 a V451/V454. Lze tedy říct, že pokud dojde ke kontingenci jednoho z vedení na trase Výškov-Babylon-Bezděčín (dále pokračující na Neznášov a Krasíkov), minimálně část činného výkonu by musela být přenesena z rozvodny Výškov po V410 do rozvodny Čechy-střed a poté po zmiňované V454 do Bezděčína. Tato situace je znázorněna na obrázku 7.4. Vhodnou rekonfigurací v rozvodně Čechy-střed lze tomuto vlivu zabránit. Následující obrázky 7.5 a 7.6 graficky zobrazují zapojení rozvodny Čechy-střed před a po provedené rekonfiguraci.



Obrázek 7.5 - Původní zapojení rozvodny Čechy-střed (400 kV) – provozní scénář I. [12]



Obrázek 7.6 - Zapojení rozvodny Čechy-střed (400 kV) po rekonfiguraci – provozní scénář I. [12]

Tabulka 7.5 - Výsledky KAN po rekonfiguraci – provozní scénář I. [12]

Kontingence	N-1 (A)	Přes N-1 (A)	N-1 (%)	N-0 (A)	N-0 (%)	Rozdíl (A)	Rozdíl (%)	Zařízení
C:V419:1	2306.0	0	96.1	1338.4	55.8	967.6	40.3	C:V450:1
C:V452:1	845.1	0	93.9	646.0	71.8	199.1	22.1	C:V204:1
C:V474:1	2216.8	0	92.4	1278.2	53.3	938.6	39.1	C:V473:1
C:V473_Mul	2164.6	0	90.2	1089.7	45.4	1074.9	44.8	C:V474:1
C:V473:1	2164.6	0	90.2	1089.7	45.4	1074.9	44.8	C:V474:1
C:V450:1	2161.1	0	90.0	1273.4	53.1	887.7	37.0	C:V419:1
C:V446:1	2158.7	0	89.9	1320.5	55.0	838.2	34.9	C:V445:1
C:V445:1	2158.2	0	89.9	1318.5	54.9	839.7	35.0	C:V446:1
C:V451:1	2126.0	0	88.6	1273.4	53.1	852.7	35.5	C:V419:1
C:V450:1	1620.6	0	81.0	748.2	37.4	872.4	43.6	C:V454:1

Z výsledků KAN v tabulce 7.5 vyplývá, že vliv vedení V450 a V451 na V454 významně poklesl. Řešení má svá úskalí, neboť se problém částečně přesunul jinam. V soustavě se nyní objevila nová kontingence V419/V450 96,1 %, která je důsledkem právě provedené rekonfigurace. Tato kontingence je však oproti původním dvěma (navíc v jednom případě přes 100 %) v dané situaci bezpečnější. Negativem opatření je snížení spolehlivosti soustavy rozdělením provozu v rozvodně Čechy-střed na dvě přípojnice s rozepnutým spínačem přípojnic.

7.1.3.4 Kombinace opatření

Z předchozích výsledků konstatuji, že situace v síti je komplikovaná a její kompletní řešení není možné zajistit pouze jedním ze způsobů opatření.

Navrhuji kombinaci původních variant následujícími body:

- Rekonfigurace v rozvodně Čechy-střed dle kapitoly 7.1.3.3.
- Přesun výroby celkem 200 MW z elektrárny Počerady do elektrárny Dětmárovice.
- Přenastavení odboček PST z -4 na -15 (po česko-německém profilu je přenášen činný výkon 1485 MW – podobně jako po prvním opatření).

V tabulce 7.6 jsou viditelné výsledky KAN po provedených opatřeních. Z výsledků je patrné, že se situace v síti zlepšila natolik, že žádná z kontingencí nezpůsobuje neplnění kritéria N-1.

Tabulka 7.6 - Výsledky KAN po kombinaci opatření – provozní scénář I. [12]

Kontingence	N-1 (A)	Přes N-1 (A)	N-1 (%)	N-0 (A)	N-0 (%)	Rozdíl (A)	Rozdíl (%)	Zařízení
C:V433:1	2230.7	0	92.9	1475.7	61.5	755.0	31.5	C:V422:1
C:V430:1	2214.2	0	92.3	1799.3	75.0	414.9	17.3	C:V420:1
C:V419:1	2168.6	0	90.4	1256.5	52.4	912.1	38.0	C:V450:1
D2:V413:1	3003.3	0	90.1	2097.8	63.0	905.5	27.2	D2:V414:1
D2:V414:1	3000.9	0	90.1	2091.3	62.8	909.6	27.3	D2:V413:1
C:V431:1	2142.1	0	89.3	1799.3	75.0	342.8	14.3	C:V420:1
D2:V457:1	1022.5	0	89.0	412.8	35.9	609.7	53.1	D2:V248:1
C:V474:1	2115.6	0	88.1	1220.3	50.8	895.2	37.3	C:V473:1
C:V452:1	791.6	0	88.0	614.7	68.3	176.9	19.7	C:V204:1
C:V221:1	756.4	0	87.6	366.7	42.5	389.7	45.2	C:V208:1
C:V473_Mul	2065.5	0	86.1	1040.2	43.3	1025.3	42.7	C:V474:1
C:V473:1	2065.5	0	86.1	1040.2	43.3	1025.3	42.7	C:V474:1
C:V422:1	2408.1	0	86.0	2001.3	71.5	406.8	14.5	C:V433:1
C:V413:1	2063.3	0	86.0	1799.3	75.0	264.1	11.0	C:V420:1
C:V450:1	2036.4	0	84.9	1205.9	50.2	830.6	34.6	C:V419:1
C:V420:1	2008.3	0	83.7	1188.0	49.5	820.2	34.2	C:V430:1
C:V208:1	750.3	0	83.4	526.3	58.5	223.9	24.9	C:V221:1

7.1.4 Vyhodnocení navržených řešení

Provozní scénář je specifický tím, že se v něm objevuje několik narušení kritéria N-1, která nejsou způsobena jednou příčinou a nedají se všechna odstranit jedním konkrétním opatřením. Na jedné straně jsou zde narušení N-1 u vedení V420 a V430, jež vyžadují snížení toku činného výkonu skrze rozvodnu Hradec-východ, čehož dosahují v jednom případě využitím odboček PST a ve druhém případě využitím redispečinku.

Přesun výroby ze severu Čech na sever Moravy způsobuje snížení narušení kritéria N-1 u vedení v oblasti rozvodu Výškov, Babylon, Bezděčín a Čechy-střed – jmenovitě vedení V450 a V451 na V454. Narušení kritéria N-1 snižují v tomto případě také rekonfigurací v rozvodně Čechy-střed, kdy rozdělují provoz rozvodny na dvě přípojnice rozepnutím spínače přípojníc a vhodným rozdělením jednotlivých vývodů. Vliv V450 a V451 na V454 se razantně snižuje – k hranici 80 % a méně. Vlivem této

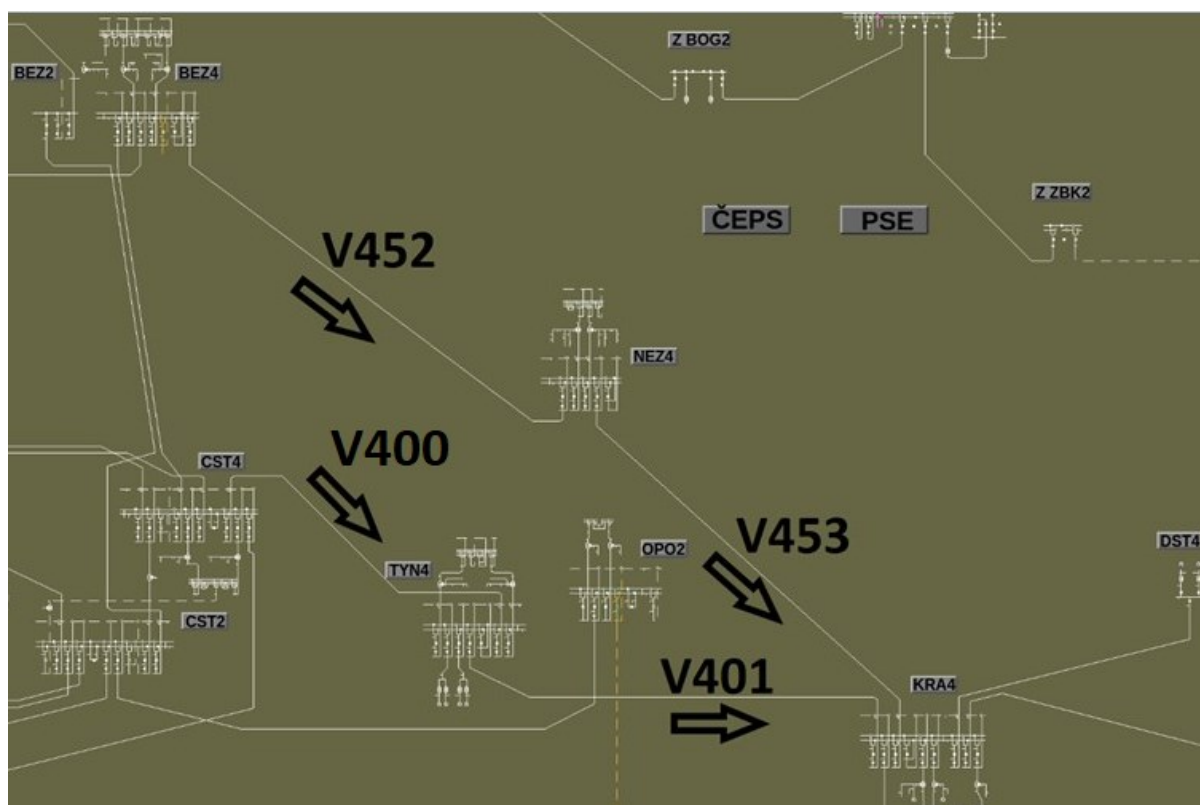
rekonfigurace se objevuje zvýšený vliv V419 na V450 (92,9 %), ovšem v porovnání s původním stavem se jedná o výrazné zlepšení.

Vzhledem k různorodosti narušení přistupuji ke zkombinování několika opatření a tím zlepšení stavu v soustavě jako celku. Společná aplikace regulace toku výkonu pomocí PST, společně s redispečinkem a rekonfigurací v rozvodně Čechy-střed uspokojivě řeší všechna narušení N-1 v naší soustavě, bez přenesení narušení do zahraničí.

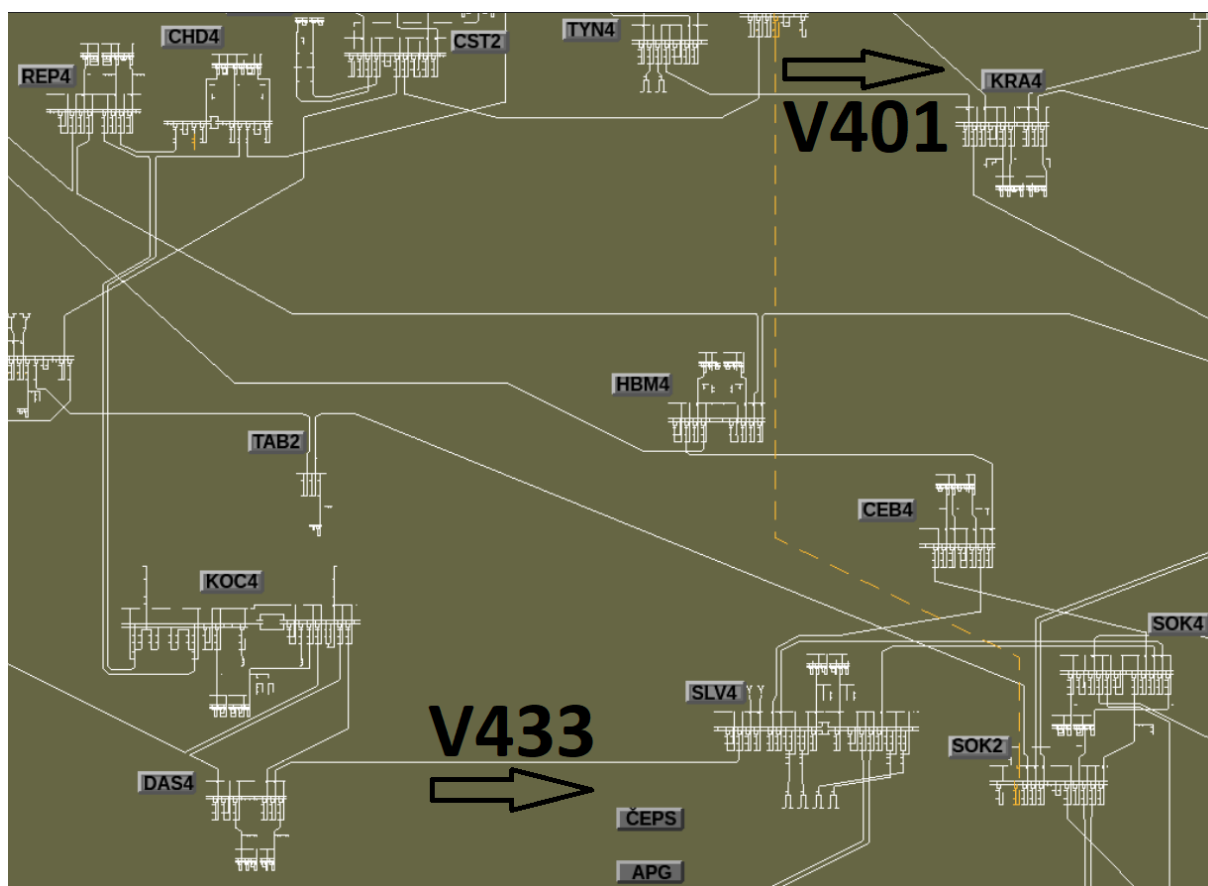
Z výsledků KAN je patrné, že v daném provozním stavu je narušeno kritérium N-1 pouze u vedení V401, a to jednou kontingencí přesahující 100 % v případě V452 a dalšími dvěma (V453 a V433) u kterých se neplnění N-1 pohybuje okolo 90 %. Vedení V401 spojuje rozvodny Týnec a Krasíkov a v počátečním provozním stavu je zatíženo činným výkonem zhruba 908 MW. Vedení je zatíženo proudem 1254 A, přičemž dovolené proudové zatížení vedení je 1740 A.

Z výsledků KAN vyplývá, že nejpodstatnější vliv na linku V401 má kontingence vedení V452, která by zapříčinila překročení dovoleného zatížení V401 (103,5 %). Kontingence V453 a V433 by k překročení dovoleného zatížení sice nevedly (91,7 % respektive 88,2 %), nicméně i tyto vlivy opatřeními snižují.

Obrázky 7.8 a 7.9 přibližují situaci v PS ČR. V modelu sítě jsou vyznačena právě ta vedení, kterých se provozní situace týká nejvíce.



Obrázek 7.8 - Oblast V401 v detailu [12]



Obrázek 7.9 - Oblast V433 v detailu [12]

Konkrétní vedení jsou v modelu označena. Vyznačené šipky znázorňují směr toků činných výkonů, které jsou významné pro správnou analýzu. Z výsledků KAN vyšly jako nejhorší kontingence V452 a V453, v obou případech s největším vlivem na V401.

Vedení V452 společně s V453 považují za paralelní k vedení V401. Společně přenášejí činný výkon ze severu Čech směrem na jihovýchod ČR. Na základě této skutečnosti vyvozují, proč se tato vedení navzájem tolik ovlivňují. Pokud dojde k narušení trasy mezi rozvodnami Bezděčín – Neznášov – Krasíkov (V452 a V453), část činného výkonu se místo touto trasou vydá cestou přes rozvodny Čechy-střed – Týnec – Krasíkov (V400 a V401), čímž v tomto místě dojde ke zvýšení zatížení.

I přesto, že jsou V452 a V453 na stejné trase, existuje významný rozdíl mezi těmito dvěma kontingencemi. Kontingence V453 je méně problematická zejména z důvodu, že vedení je zatíženo nižším činným výkonem – pouze 452 MW (631 A), zatímco u V452 se jedná o zatížení 725 MW (1003 A). V případě kontingence V453 je vedení V401 zatíženo částí činného výkonu, který je potřeba přenést do rozvodny Krasíkov. Oproti tomu při kontingenci V452 se navíc V401 podílí také na přenosu činného výkonu do rozvodny Neznášov, na kterém se doposud podílet nemuselo vůbec. Z modelu sítě je patrné, že do rozvodny Neznášov se činný výkon jiným způsobem dostat nemůže. Zároveň lze z původních zatížení V452 a V453 vyčíst, že Neznášov vyžaduje zhruba 273 MW činného výkonu do distribuční soustavy. Z rozvodny Neznášov o napěťové hladině 400 kV vedou 2 vývody do rozvodny o napěťové hladině 110 kV.

7.2.3 Řešení

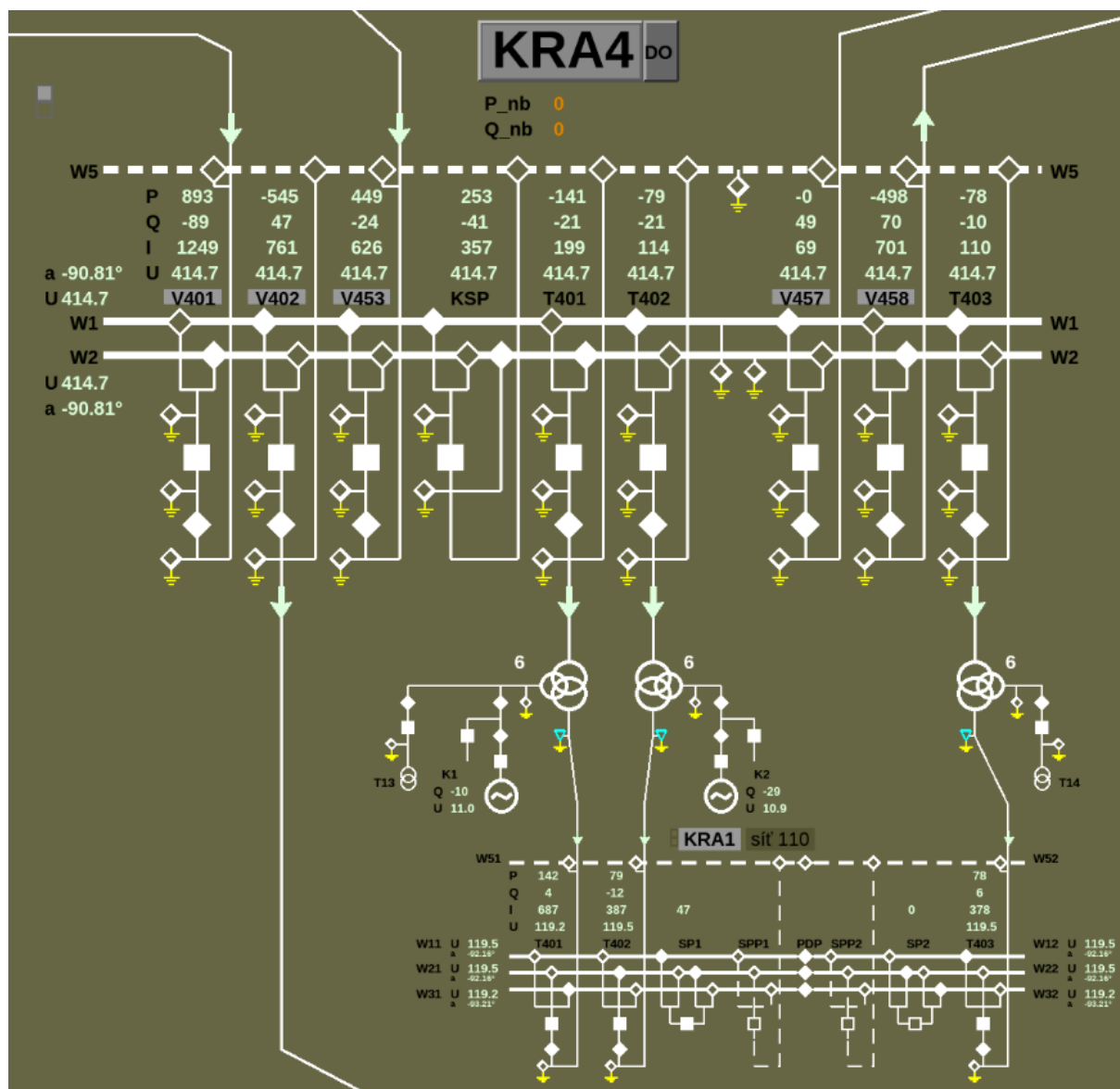
7.2.3.1 Rekonfigurace v rozvodně Krasíkov

Zmíněná vedení ústí do rozvodny Krasíkov. Vhodnou rekonfigurací v rozvodně Krasíkov lze zajistit zlepšení plnění kritéria N-1. V původním stavu je rozvodna provozována na dvou přípojnicích, se sepnutým KSP. Vhodným rozdělením provozu lze vliv V452, respektive V453 na V401 snížit.

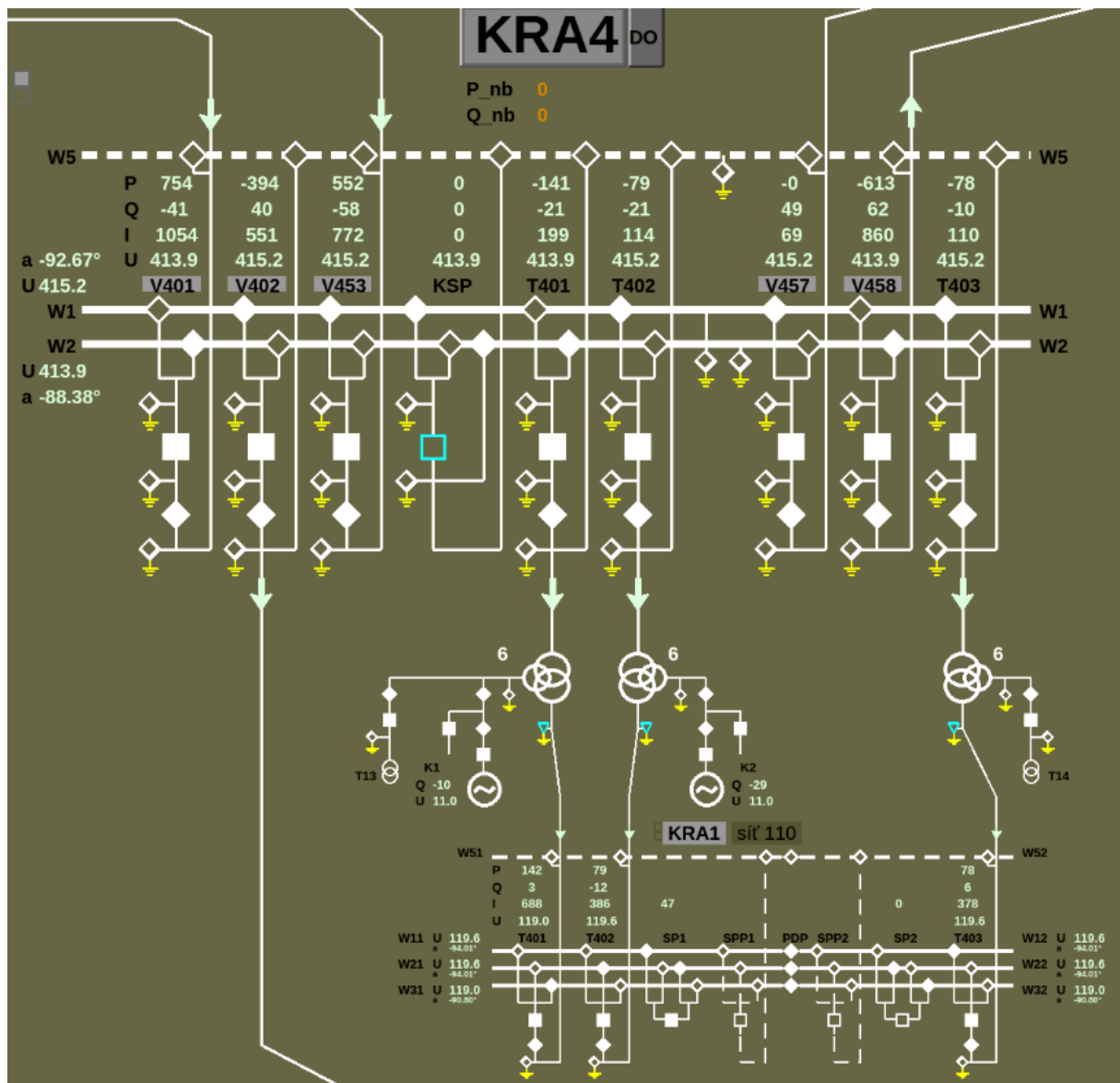
Navrhuji rozdělení provozu v rozvodně Krasíkov tímto způsobem:

- přípojnice W1: V402, V453, V457, T402, T403,
- přípojnice W2: V401, V458, T401,
- SP: rozepnut.

Na obrázcích 7.10 a 7.11 lze vidět zapojení rozvodny Krasíkov před a po rekonfiguraci.



Obrázek 7.10 - Původní zapojení rozvodny Krasíkov (400 kV) – provozní scénář II. [12]



Obrázek 7.11 - Zapojení rozvodny Krasíkov (400 kV) po rekonfiguraci – provozní scénář II. [12]

V401 již tak oproti původnímu stavu není na společné přípojnici s V453 (a tedy s V452). Je však spojeno s odchozím vedením V458 do rozvodny Horní Žitovice a s vývodem do distribuční soustavy přes transformátor T401. Oproti tomu V453 je spojeno s odchozím vedením V402 do Prosenic a také se dvěma vývody do distribuční soustavy přes transformátory T402 a T403.

U vývodů do rozvodny 110 kV Krasíkov je potřeba provést správně rozdělení na jednotlivé přípojnice, vzhledem k zapojení rozvodny v distribuční soustavě. Zapojení na straně distribuce je v původním stavu takové, že přípojnice W11, W12, W21, W22 jsou spojeny přes SP1 a také přes PDP, zatímco W31 společně s W32 pracují od ostatních přípojníc odděleně. Transformátory T402 a T403 pracují na přípojnicích W21, respektive W12, tudíž ve společném provozu, a proto je zapojují na společnou přípojnici W1 i v rozvodně 400 kV. Naproti tomu T401, které na straně distribuce pracuje na přípojnicích W31 (spojenou s W32), na straně PS zapojují na přípojnicích W2.

V tabulce 7.8 lze vidět výsledky KAN po zvoleném opatření.

Tabulka 7.8 - Výsledky KAN po rekonfiguraci – provozní scénář II. [12]

Kontingence	N-1 (A)	Přes N-1 (A)	N-1 (%)	N-0 (A)	N-0 (%)	Rozdíl (A)	Rozdíl (%)	Zařízení
Q:V440:1	2028.0	0	84.5	1489.6	62.1	538.4	22.4	Q:V449:1
Q:V449:1	1686.7	0	84.3	974.2	48.7	712.4	35.6	Q:V448:1
C:V432_MuI	1467.6	0	81.5	956.0	53.1	511.5	28.4	C:KOC:ACA01
C:V430:1	1947.7	0	81.2	1614.2	67.3	333.6	13.9	C:V420:1
C:V420:1	1616.3	0	80.8	904.9	45.2	711.4	35.6	C:CHR:4:KSP:1
C:V452:1	1318.6	0	75.8	1056.8	60.7	261.8	15.0	C:V401:1
C:V453:1	1232.4	0	70.8	1056.8	60.7	175.6	10.1	C:V401:1
C:V433:1	1819.6	0	75.8	1224.2	51.0	595.4	24.8	C:V422:1

Z výsledků KAN je patrné, že zvolené opatření plní zamýšlený účel. Nejhorší kontingencí z původně uvedených je stále V452/V401, ovšem tentokrát pouze s dopadem 75,8 %. Kontingence V453/V401 poklesla na 70,8 %. Vliv kontingence V433/V401 není z výsledků znám přesně, nicméně lze s jistotou říct, že je nižší než 75,8 %. Výsledky KAN ukazují nejhorší vliv kontingence daného vedení. Pokud poslední řádek v tabulce uvádí, že kontingence V433 nejvýrazněji zhorší zatížení V422, a to pouze na 75,8 %, vliv na V401 je nižší.

Tabulka 7.9 přehledně znázorňuje porovnání N-1 před a po rekonfiguraci.

Tabulka 7.9 - Porovnání N-1 před a po rekonfiguraci – provozní scénář II. [12]

Kontingence	Původní N-1 (%)	N-1 po opatření (%)	Zlepšení (%)
V452/V401	103.5	75.8	27.7
V453/V401	91.7	70.8	20.9
V433/V401	88.2	75.8	12.4

Provedené opatření se neprojevovalo vznikem narušení N-1 v jiné části soustavy. Vliv neřešených kontingencí zůstal v porovnání s původním stavem totožný. Výhodou rekonfigurace je rychlost možného provedení, nevýhodou pak snížení spolehlivosti soustavy z důvodu rozdělení provozu v rozvodně.

7.2.3.2 Změna odboček PST v rozvodně Hradec – východ

Pakliže je v PS ČR jednoznačný výkonový tok z oblasti severních Čech na jihovýchod a vedení na česko-německém profilu do rozvodny Hradec-východ jsou zatížena celkem 1418 MW (ve směru do ČR), předpokládám, že řízení toku činného výkonu využitím PST může mít na situaci pozitivní vliv.

Navrhuji změnu odboček PST v rozvodně Hradec – východ, při které dochází ke snížení zatížení přeshraničních vedení z Německa na 752 MW (53 % z původního zatížení). Tabulka 7.10 zobrazuje výsledky KAN po provedeném opatření.

Tabulka 7.10 - Výsledky KAN po přenastavení odboček PST – provozní scénář II. [12]

Kontingence	N-1 (A)	Přes N-1 (A)	N-1 (%)	N-0 (A)	N-0 (%)	Rozdíl (A)	Rozdíl (%)	Zařízení
C:V452:1	1737.1	0	99.8	1211.4	69.6	525.7	30.2	C:V401:1
C:V453:1	1533.8	0	88.1	1211.4	69.6	322.4	18.5	C:V401:1
C:V433:1	1468.7	0	84.4	1211.4	69.6	257.3	14.8	C:V401:1
Q:V440:1	2016.5	0	84.1	1477.3	61.6	539.2	22.5	Q:V449:1
Q:V449:1	1655.5	0	82.8	949.6	47.5	705.9	35.3	Q:V448:1
C:V432_Mul	1464.4	0	81.4	950.2	52.8	514.3	28.6	C:KOC:ACA01

Jako při předchozím opatření i zde platí, že v důsledku přenastavení odboček na PST již nedochází k narušení kritéria N-1. Je však patrné, že i přes velké snížení výkonového toku na česko-německém profilu (z původních 1418 MW na 752 MW) je relativní změna N-1 velmi malá.

Tabulka 7.11 uvádí porovnání před a po přenastavení odboček PST.

Tabulka 7.11 - Porovnání N-1 před a po přenastavení odboček PST – provozní scénář II. [12]

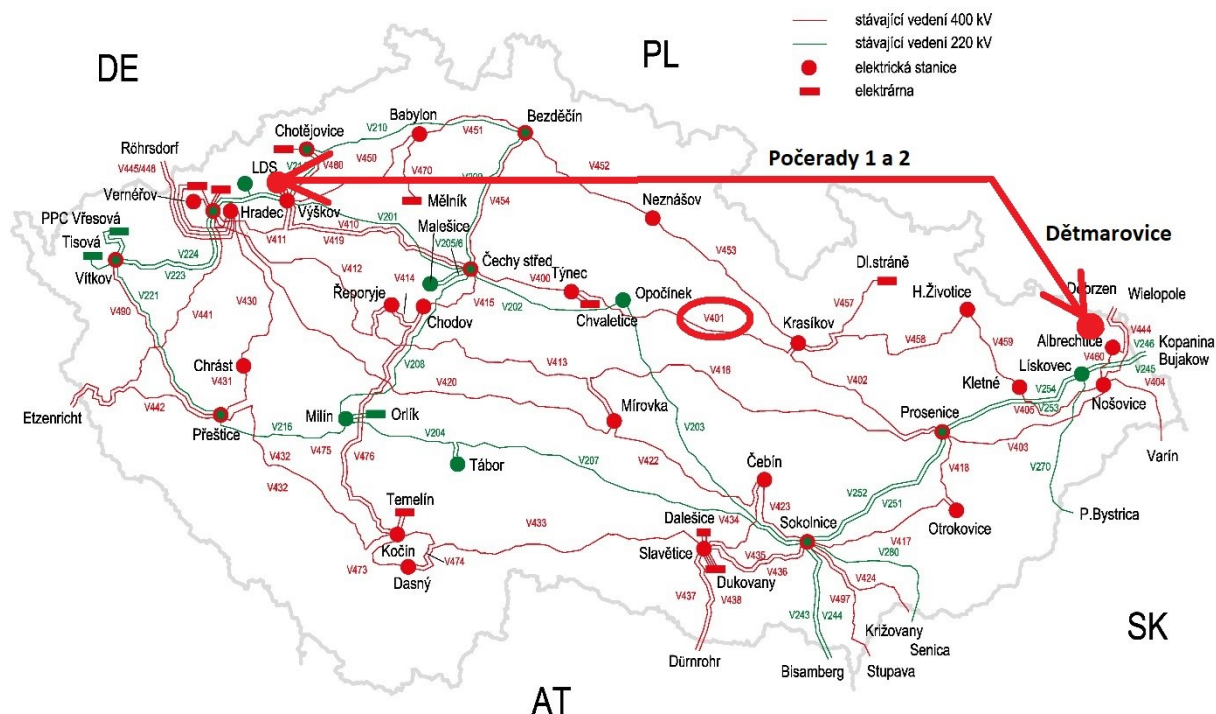
Kontingence	Původní N-1 (%)	N-1 po opatření (%)	Zlepšení (%)
V452/V401	103.5	99.8	3.7
V453/V401	91.7	88.1	3.6
V433/V401	88.2	84.4	3.8

Cíl odstranit narušení kritéria N-1 je splněn, ovšem řešení má svá úskalí. I přes významné potlačení výkonového toku z Německa je změna velmi malá. To má za následek, že v případě i drobné změny toků činného výkonu v ES by se situace mohla v následujících hodinách zhoršit. Došlo by tak k narušení kritéria N-1 a provedené opatření by nebylo dostatečné. Výhodou opatření je rychlost a fakt, že v tomto případě nedochází ke vzniku narušení kritéria N-1 v jiné části soustavy, včetně prvků v zahraničí.

Pro vyřešení daného provozního scénáře navrhuji tři typy redispečinků, které jsou od sebe odlišné zejména vzdáleností od narušeného vedení V401. Do rozvodny Výškov vyrábí všechny výrobní bloky elektráren Počerady a Počerady 2. V Dětmovicích jsou naopak 2 výrobní bloky (2 x 200 MW) nevyužity.

7.2.3.3 Redispečink v oblastech rozvodny Výškov a elektrárny Dětmovice

Mým prvním návrhem je přesunutí výroby 400 MW ze zdrojů pracujících do rozvodny Výškov (VYS4) do elektrárny Dětmovice, která pracuje do napěťové hladiny 110 kV blízko rozvodny Albrechtice (ALB4). Situaci přibližuje obrázek 7.12.



Obrázek 7.12 - Pozice zdrojů využitých v 1. var. redispečinku – provozní scénář II. [3]

V důsledku přesunu výroby dochází k odstranění narušení kritéria N-1. Výsledky KAN lze vidět v tabulce 7.12.

Tabulka 7.12 - Výsledky KAN po 1. var. redispečinku – provozní scénář II. [12]

Kontingence	N-1 (A)	Přes N-1 (A)	N-1 (%)	N-0 (A)	N-0 (%)	Rozdíl (A)	Rozdíl (%)	Zařízení
C:V452:1	1614.5	0	92.8	1132.4	65.1	482.1	27.7	C:V401:1
Q:V449:1	1720.5	0	86.0	1002.1	50.1	718.5	35.9	Q:V448:1
Q:V440:1	2049.2	0	85.4	1503.2	62.7	546.0	22.8	Q:V449:1
C:V420:1	1656.1	0	82.8	949.8	47.5	706.3	35.3	C:CHR:4:KSP:1
C:V432_MuI	1467.9	0	81.5	967.1	53.7	500.8	27.8	C:KOC:ACA01
C:V430:1	1948.8	0	81.2	1599.3	66.6	349.5	14.6	C:V420:1
C:V453:1	1411.3	0	81.1	1132.4	65.1	279.0	16.0	C:V401:1
C:V433:1	1391.2	0	80.0	1132.4	65.1	258.9	14.9	C:V401:1

Z výsledků mnou navrženého opatření je patrné, že přesun výroby 400 MW z elektráren Počerady 1 a Počerady 2 plní zamýšlený účel. Tabulka 7.13 porovnává kritérium N-1 před a po opatření.

Tabulka 7.13 - Porovnání N-1 před a po 1. var. redispečinku – provozní scénář II. [12]

Kontingence	Původní N-1 (%)	N-1 po opatření (%)	Zlepšení (%)
V452/V401	103.5	92.8	10.7
V453/V401	91.7	81.1	10.6
V433/V401	88.2	80.0	8.2

Nejhorší kontingencí je stále V452/V401, nicméně došlo k výraznému zlepšení o 10,7 %. Kritérium N-1 dosahuje hodnoty 92,8 % a vzhledem ke skutečnosti, že se jedná o nejhorší hodnotu v monitorované oblasti, opatření lze hodnotit jako velmi dobré. Podobné zlepšení nastalo v případě kontingence V453/V401. Nejmenší vliv mělo provedené opatření na kontingenci V433/V401, a to zejména z důvodu vzájemné vzdálenosti mezi těmito vedeními. U obou kontingencí se však N-1 po opatření nachází na hranici 80-81 % - tyto kontingence nemají negativní vliv na bezpečný provoz soustavy.

7.2.3.4 Redispečink mezi elektrárnami Chvaletice a Dlouhé stráně

I přes úspěšné použití první varianty redispečinku jsem se rozhodl prozkoumat další možnosti. Jedná se zejména o porovnání, jaký vliv má na provozní situaci v soustavě redispečink provedený z různých vzdáleností a s různými hodnotami přesunuté výroby.

Pro porovnání s variantou v předchozí kapitole 7.2.3.3 se pokouším zjistit, zdali je možné v PS ČR najít možnost takového redispečinku, který by bylo možné provést v místě bližším narušení N-1, za využití nižší přesunuté výroby a se stejnými účinky.

Na základě tohoto kritéria navrhuji provést redispečink mezi elektrárnami Chvaletice a Dlouhé stráně. Hnědouhelná elektrárna Chvaletice má v provozu 4 výrobní bloky s celkovým výkonem 820 MW a pracuje do rozvodny Týnec, ze které vede právě vedení V401, u kterého je narušeno kritérium N-1. Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé stráně disponuje dvěma turbínami o celkovém výkonu 650 MW.

Navrhuji přesun výroby z elektrárny Chvaletice do elektrárny Dlouhé stráně o výkonu 200 MW, tedy polovičním oproti předchozí variantě. V tabulce 7.14 lze vidět výsledky KAN.

Tabulka 7.14 - Výsledky KAN po 2. var. redispečinku – provozní scénář II. [12]

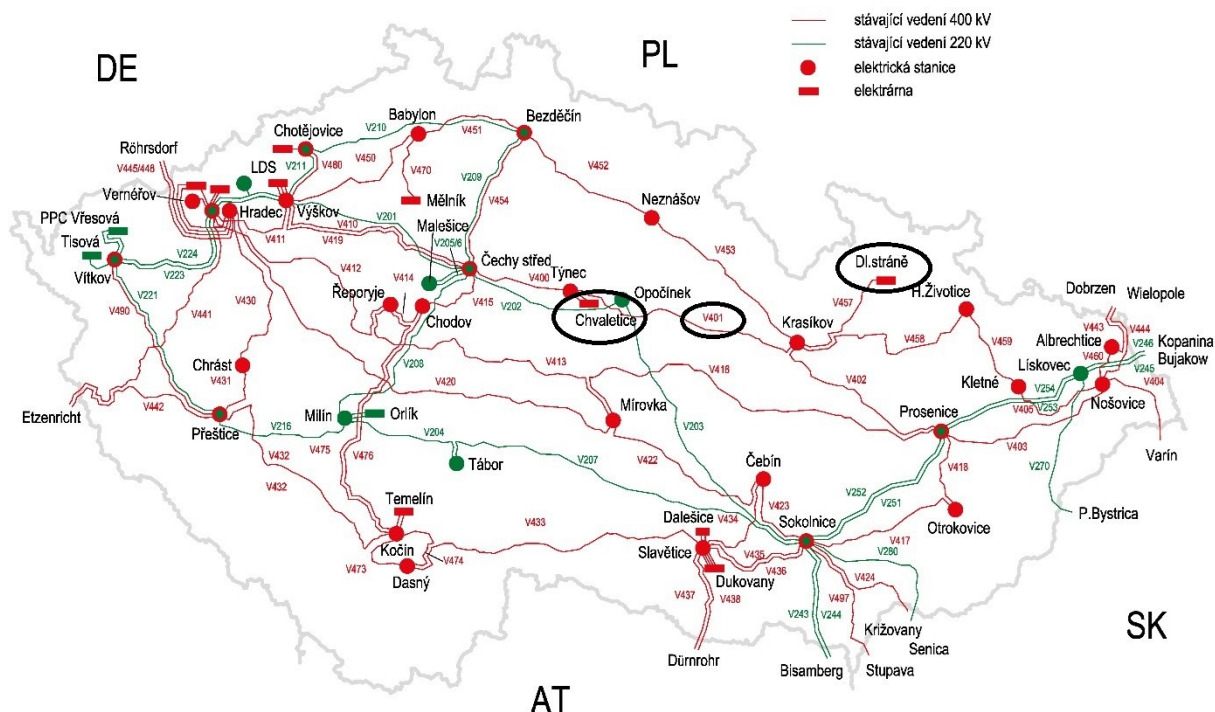
Kontingence	N-1 (A)	Přes N-1 (A)	N-1 (%)	N-0 (A)	N-0 (%)	Rozdíl (A)	Rozdíl (%)	Zařízení
C:V452:1	1605.6	0	92.3	1092.9	62.8	512.7	29.5	C:V401:1
Q:V440:1	2029.6	0	84.6	1491.3	62.2	538.3	22.4	Q:V449:1
Q:V449:1	1691.8	0	84.6	978.6	48.9	713.2	35.7	Q:V448:1
C:V432_Mul	1467.6	0	81.5	960.5	53.4	507.1	28.2	C:KOC:ACA01
C:V420:1	1623.3	0	81.2	915.9	45.8	707.4	35.4	C:CHR:4:KSP:1
C:V430:1	1941.1	0	80.9	1603.4	66.8	337.7	14.1	C:V420:1
C:V453:1	1401.8	0	80.6	1092.9	62.8	308.8	17.7	C:V401:1
C:V433:1	1367.3	0	78.6	1092.9	62.8	274.3	15.8	C:V401:1

Tabulka 7.15 porovnává kritérium N-1 před a po provedeném opatření.

Tabulka 7.15 - Porovnání N-1 před a po 2. var. redispečinku – provozní scénář II. [12]

Kontingence	Původní N-1 (%)	N-1 po opatření (%)	Zlepšení (%)
V452/V401	103.5	92.3	11.2
V453/V401	91.7	80.6	11.1
V433/V401	88.2	78.6	9.6

Z výsledků KAN je patrné, že účinnost opatření je ještě o zlomek vyšší než v případě předchozí varianty redispečinku. A to i přes to, že dochází k přesunu pouhých 200 MW výroby oproti předchozím 400 MW. Je to způsobeno tím, že redispečink provádím mnohem blíže V401.



Obrázek 7.13 - Pozice zdrojů využitých ve 2. var. redispečinku – provozní scénář II. [3]

Z obrázku 7.13 je patrný význam přesunu výroby z elektrárny Chvaletice do elektrárny Dlouhá stráně. Přesunem 200 MW ve výrobě dosahují snížení proudového zatížení V401 z původních 1255 A na 1093 A (pokles o cca 112 MW přenášeného činného výkonu). Opatření nestojí za vznikem nových narušení kritéria N-1 v jiných místech soustavy.

Výhodou tohoto opatření je relativně malý přesun výroby (pouze 200 MW). Omezující je zde fakt, že výroba v přečerpávací vodní elektrárně Dlouhá stráně není možná nepřetržitě. Je závislá jak na odebíraném činném výkonu, tak na okamžité hladině vody v horní nádrži v době, kdy je výkon vyžádán.

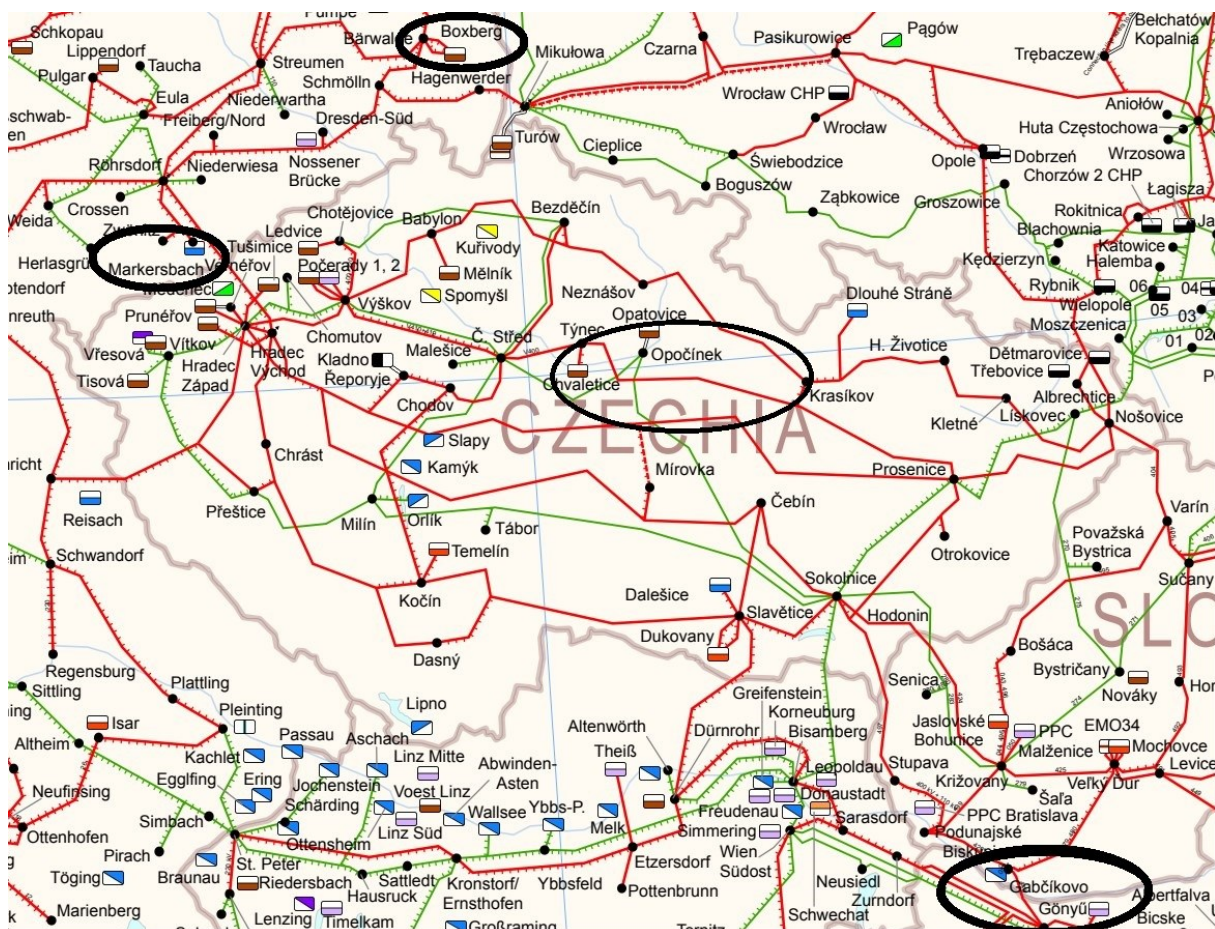
7.2.3.5 MRA

Jako třetí možnost redispečinku volím variantu využití pomoci ze strany zahraničních PPS. Obdobně jako v předchozím bodě si kladu za cíl vyřešit provozní situaci s podobným výsledkem jako při prvním redispečinku. Jak výrazně musím zvýšit objem přesunu výroby, pokud se uchýlím k MRA, tedy redispečinku v rámci sousedních provozovatelů PS.

Navrhuji variantu:

- Snížení výroby v Německu, konkrétně v elektrárnách Markersbach (-300 MW) a Boxberg (-700 MW), celkem o -1000 MW.
- Zvýšení výroby na Slovensku, konkrétně v elektrárnách Čierný Váh (+648 MW) a Gabčíkovo (+200 MW) a také v Maďarsku v elektrárně Gönyü (+152 MW), celkem o +1000 MW.

Na obrázku 7.14 zobrazují pozici zdrojů využitých v redispečinku.



Obrázek 7.14 - Pozice zdrojů využitých ve 3. var. redispečinku – provozní scénář II. [3]

Výsledky KAN obsahuje tabulka 7.16.

Tabulka 7.16 - Výsledky KAN po 3. var. redispečinku – provozní scénář II. [12]

Kontingence	N-1 (A)	Přes N-1 (A)	N-1 (%)	N-0 (A)	N-0 (%)	Rozdíl (A)	Rozdíl (%)	Zařízení
C:V452:1	1675.9	0	96.3	1171.7	67.3	504.2	29.0	C:V401:1
Q:V449:1	1845.2	0	92.3	1113.5	55.7	731.8	36.6	Q:V448:1
Q:V440:1	2090.5	0	87.1	1532.9	63.9	557.6	23.2	Q:V449:1
C:V453:1	1473.5	0	84.7	1171.7	67.3	301.8	17.3	C:V401:1
C:V433:1	1418.9	0	81.5	1171.7	67.3	247.2	14.2	C:V401:1
C:V432_Mul	1463.9	0	81.3	953.0	52.9	511.0	28.4	C:KOC:4:ACA01
Q:V448:1	1925.2	0	80.2	1532.9	63.9	392.3	16.4	Q:V449:1

Tabulka 7.17 porovnává kritérium N-1 před a po provedeném opatření.

Tabulka 7.17 - Porovnání N-1 před a po 3. var. redispečinku – provozní scénář II. [12]

Kontingence	Původní N-1 (%)	N-1 po opatření (%)	Zlepšení (%)
V452/V401	103.5	96.3	7.2
V453/V401	91.7	84.7	7.0
V433/V401	88.2	81.5	6.7

I toto opatření plní původně zamýšlený účel. Narušení kritéria N-1 se daří odstranit u všech tří kontingencí. Pokles N-1 je o 6,7-7,2 %. I když je potřeba přesunu výroby o výkonu 1000 MW, nedosahují stejně uspokojivých výsledků jako v předchozích dvou variantách redispečinku.

Tento redispečink je technicky možný, na provedení náročnější, neboť je potřeba změnu výroby koordinovat se zahraničními PPS. Výhodou opatření je snížení přenosových ztrát. Nevýhodou opatření je časové zpoždění a finanční náročnost, vzhledem k tomu, že je nutné, oproti předchozím variantám redispečinku, přesunout výrazně vyšší výkon.

7.2.4 Vyhodnocení navržených řešení

Tento provozní scénář je oproti prvnímu scénáři odlišný ve skutečnosti, že v soustavě na základě KAN evidují narušení kritéria N-1 pouze v případě jednoho vedení V401. Příčina všech tří kontingencí je stejná, a to přebytek výkonu v severozápadní části ČR a Německu a nedostatek výkonu v oblasti na jihovýchodě. Uvedenými výsledky dokazují, že je provozní situaci možné vyřešit několika způsoby.

V prvním případě využívám rozdělení provozu v rozvodně Krasíkov na dvě přípojnice s rozepnutým kombinovaným spínačem přípojníc. Vhodné rozdělení jednotlivých vedení má za následek to, že se vedení navzájem tolik neovlivňují.

Druhou variantou dokazují, že použití PST má na narušení vliv, je technicky možné a je dostatečné. Přenastavení odboček má za následek výrazné snížení přetoků z Německa (z původních 1418 MW na 752 MW) a tím také snížení toků činného výkonu v celé oblasti. U žádného z prvků není narušeno kritérium N-1, nicméně v případě kontingence V452/V401 se jedná o 99,8 %, řešení tedy nepovažuji za zcela uspokojivé.

Následující tři varianty řešení zakládám na rozdílném použití redispečinku v různých vzdálenostech od V401 a při různých hodnotách přenášeného výkonu. Výsledky potvrzují, že čím blíže problému je vhodný redispečink proveden, tím menší výkon je potřeba přesunout. V případě nejbližšího redispečinku (Chvaletice – Dlouhé stráně) stačí přesunout výrobu 200 MW. Naopak v případě redispečinku v zahraničí se jedná o 1000 MW.

V dané provozní situaci jako konečné řešení aplikuji rekonfiguraci v rozvodně Krasíkov, a to z několika důvodů. V porovnání s dalšími opatřeními jsou výsledky KAN nejspokojivější. Opatření je rychlé a zároveň nezpůsobuje narušení kritéria N-1 jinde v soustavě. Hlavní nevýhodou opatření je snížení spolehlivosti provozu.

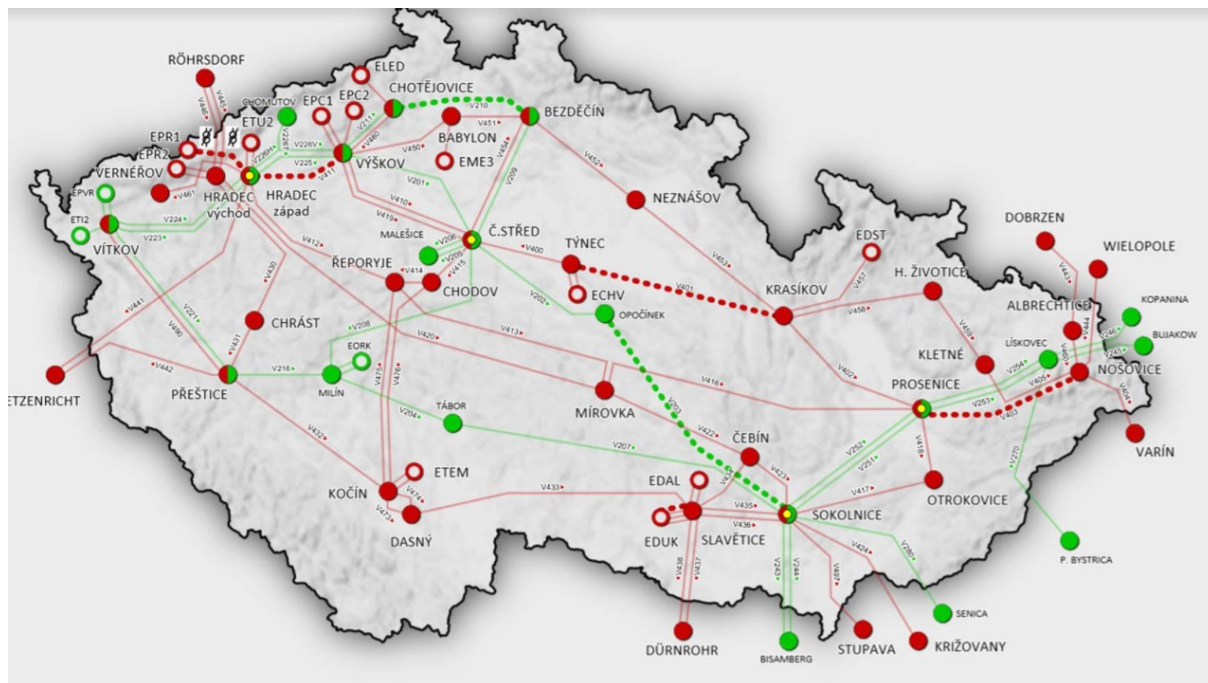
Jako záložní variantu volím redispečink, konkrétně přesun 200 MW z elektrárny Chvaletice do elektrárny Dlouhé stráně. Výhodou redispečinku je snížení přenosových ztrát, protože výroba je přesunuta blíže spotřebě. Další výhodou v porovnání s rekonfigurací je udržení spolehlivosti provozu PS. Nevýhodou je nižší rychlost. Snížení výroby ve hnědouhelné elektrárně a zároveň najetí přečerpávací vodní elektrárny není otázkou okamžiku. V případě jiných typů redispečinku, kde jsou v oblasti pouze tepelné elektrárny se jedná o hodiny.

7.3 Provozní situace III. ze dne 19.11.2020 – čas 09:20

7.3.1 Modifikace

Provozní situaci jsem po konzultaci se zástupcem firmy ČEPS upravil o zapnutí vedení V203 (Opočíněk – Sokolnice).

7.3.2 Analýza provozní situace



Obrázek 7.15 - Základní topologie PS ČR provozního scénáře III. [27]

Obrázek 7.15 znázorňuje model soustavy, ze kterého je patrné, že v PS ČR jsou vypnuta tato vedení (označena přerušovanými čarami):

- V401 (Týnec – Krasíkov), V411 (Hradec-západ – Výškov), V403 (Prosenice – Nošovice)
- V210 (Chotějovice – Bezděčín)

Výjimkou v obrázku 7.15 je V203, které je dle uvedené modifikace v kapitole 7.3.1 zapnuto.

Tabulka 7.18 znázorňuje výsledky KAN.

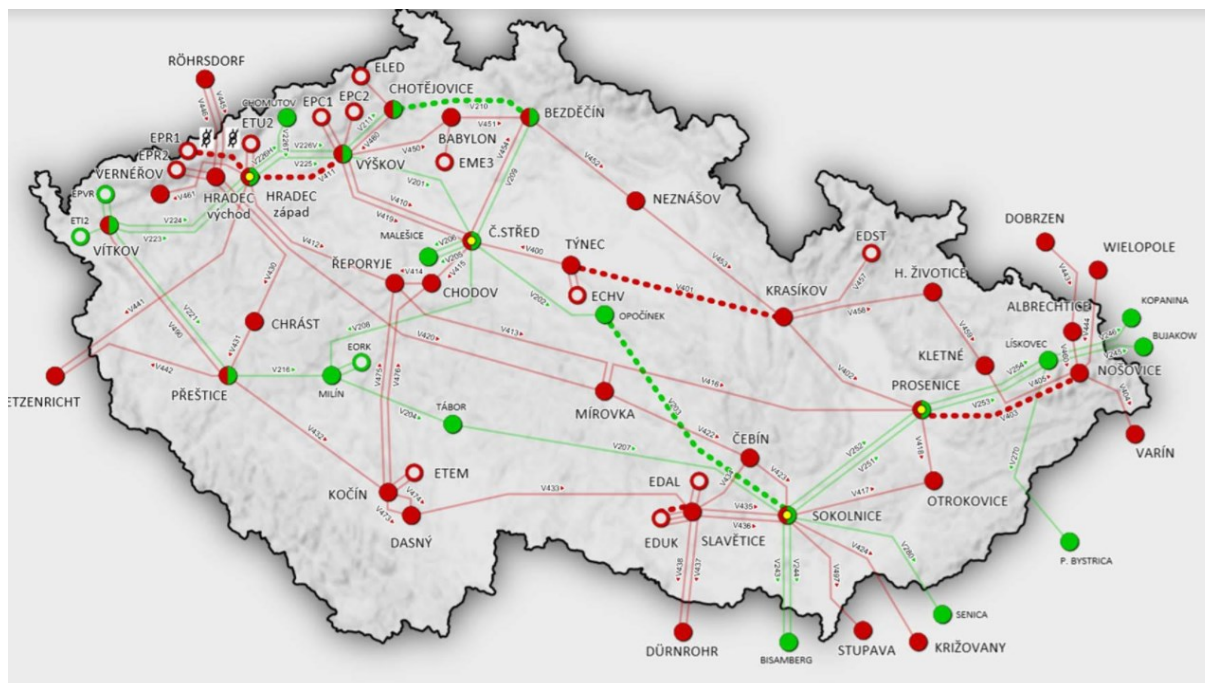
Tabulka 7.18 - Výsledky KAN v původním stavu – provozní scénář III. [12]

Kontingence	N-1 (A)	Přes N-1 (A)	N-1 (%)	N-0 (A)	N-0 (%)	Rozdíl (A)	Rozdíl (%)	Zařízení
C:V452:1	680.0	100.0	117.2	446.6	77.0	233.3	40.2	C:V203:1
C:V453:1	628.7	48.7	108.4	446.6	77.0	182.1	31.4	C:V203:1
C:V450:1	379.0	29.0	108.3	272.2	77.8	106.8	30.5	C:VYS:T402
C:V433:1	618.6	38.6	106.7	446.6	77.0	171.9	29.6	C:V203:1
D2:V457:1	430.7	0	95.7	178.4	39.6	252.3	56.1	D2:ETZ:T421
C:V461:1	329.2	0	94.0	272.2	77.8	57.0	16.3	C:VYS:T402
C:CST:T401	322.6	0	92.2	272.2	77.8	50.5	14.4	C:VYS:T402
C:V410:1	321.4	0	91.8	272.2	77.8	49.2	14.1	C:VYS:T402
C:V419:1	321.3	0	91.8	272.2	77.8	49.2	14.0	C:VYS:T402
C:V204:1	531.9	0	91.7	446.6	77.0	85.3	14.7	C:V203:1
C:V451:1	1812.1	0	90.6	1049.0	52.5	763.1	38.2	C:V454:1
C:V413:1	523.3	0	90.2	446.6	77.0	76.6	13.2	C:V203:1
C:V422:1	517.3	0	89.2	446.6	77.0	70.7	12.2	C:V203:1
C:V458:1	440.8	0	88.0	327.0	65.3	113.8	22.7	C:PRN:T401
C:V211:1	306.4	0	87.5	272.2	77.8	34.3	9.8	C:VYS:T402
C:V454:1	496.6	0	85.6	446.6	77.0	50.0	8.6	C:V203:1
D2:V413:1	2916.4	0	85.4	2056.0	60.2	860.3	25.2	D2:V414:1

Z výsledků KAN je patrný zejména vliv kontingencí na narušení kritéria N-1 u vedení napěťové hladiny 220 kV V203. V203 přenáší výkon ve směru z rozvodny Opočinek do rozvodny Sokolnice, jedná se o 179 MW (446,6 A). Dovolené proudové zatížení V203 je 580 A. Tři z kontingencí jsou nepřijatelné, neboť narušují plnění kritéria N-1 (V452, V453, V433), další 4 kontingence se pohybují v rozmezí 85-92 %, jejich změnu v závislosti na provedených opatřeních budu ovšem také sledovat.

Ve výsledcích KAN lze nad 85 % nalézt také kontingence způsobující zvýšení zatížení určitých transformátorů v PS. Jedná se o transformátory s označením T402, který je umístěn v rozvodně Výškov, a T401 umístěným v rozvodně Prosenice. Narušení kritéria N-1 tohoto typu není předmětem této práce a tyto kontingence se nesnažím vyřešit. Je to z toho důvodu, že tyto transformátory je možné dle provozní instrukce ČEPS krátkodobě přetěžovat. Není nutné činit preventivní opatření, neboť by v tom důsledku mohly být zhoršeny jiné parametry v soustavě (např. snížení stability soustavy, zvýšení přenosových ztrát). Přesto vliv opatření na narušení kritéria N-1 u transformátorů sleduji.

Za příčinu narušení N-1 na V203 považuji zčásti špatné rozložení výroby a spotřeby a také porušenou trasu pro přenos energie, a to vedení V401 z rozvodny Týnec do rozvodny Krasíkov. Soustavou je nutné přenést velké množství výkonu ze severu Čech na jihovýchod a plánované práce na vedení V401 způsobují sníženou přenosovou kapacitu touto oblastí.



Obrázek 7.16 – Situace PS ČR – provozní scénář III. [27]

Obrázek 7.16 znázorňuje provozní situaci s výjimkou znázornění V203, které je ve skutečnosti v provozu (na obrázku je však přerušovaně – mimo provoz). Mimo provoz jsou dále vedení V411 mezi rozvodnami Hradec-západ a Výšov, V210 mezi rozvodnami Chotějovice a Bezděčín a také V403 mezi rozvodnami Prosenice a Nošovice.

Výkon vyrobený v elektrárnách Ledvice (ELED), Počeradky 1 (EPC1) a Počeradky 2 (EPC2) je všechen přenášen do rozvodny Výšov. Jelikož je mimo provoz i vedení V411, všechen činný výkon z Výškova je přenášen na východ do rozvodn Babylon (838 MW) a Čechy-střed (1145 MW). Právě zvýšená injekce do rozvodny Čechy-střed v kombinaci tím, že vedení V401 je mimo provoz, má za následek, že je část činného výkonu přenesena do vedení napěťové hladiny 220 kV – konkrétně vedení V203. V případě výše uvedených kontingencí (V452, V453 a V433) dojde k přetížení V203.

7.3.3 Řešení

7.3.3.1 Vypnutí vedení V203

Po kontingencích hrozí přetížení V203 v důsledku toho, že se část přenášeného výkonu přenáší do vedení o napěťové hladině 220 kV. Zatímco V203 je se svou přenosovou schopností zatíženo na dovolených 77 %, tedy v relativním porovnání se jedná o druhé nejvíce zatížené vedení v soustavě, přenáší v původním stavu pouze asi 178 MW činného výkonu. Tabulka 10.2 znázorňuje porovnání zatížení jednotlivých vedení.

Tabulka 7.19 - Porovnání zatížení vedení – provozní scénář III. [12]

Vedení	Aktuální zatížení (A)	Maximální zatížení (A)	Dovolené zatížení (%)	Přenášený činný výkon (MW)
C:V466:1	903.8	1020	88.6	638.5
C:V052:1	1469.5	1800	81.6	1048.8
C:V203:1	446.6	580	77.0	178.4
C:V051:1	1436.9	1968	73.0	1030.2
C:V467:1	768.8	1095	70.2	556.7
C:V468:1	1082.5	1600	67.7	784.2

Z tabulky 7.19 lze vyčíst, že V203 má relativně nízkou přenosovou schopnost. Jako opatření navrhuji vypnutí V203 a tím zamezit možnému ohrožení vedení napěťové hladiny 220 kV. V tabulce 7.20 lze vidět výsledky KAN po provedeném opatření.

Tabulka 7.20 - Výsledky KAN po vypnutí vedení V203 – provozní scénář III. [12]

Kontingence	N-1 (A)	Přes N-1 (A)	N-1 (%)	N-0 (A)	N-0 (%)	Rozdíl (A)	Rozdíl (%)	Zařízení
C:V450:1	382.5	32.5	109.3	274.2	78.3	108.3	30.9	C:VYS:T402
C:V452:1	365.8	15.8	104.5	274.2	78.3	91.6	26.2	C:VYS:T402
C:V453:1	346.3	0	99.0	274.2	78.3	72.1	20.6	C:VYS:T402
D2:V457:1	438.7	0	97.5	181.7	40.4	257.0	57.1	D2:ETZ:T421
C:V458:1	473.0	0	94.4	354.4	70.7	118.6	23.7	C:PRN:T401
C:V451:1	1875.7	0	93.8	1094.5	54.7	781.2	39.1	C:V454:1
C:V461:1	327.9	0	93.7	274.2	78.3	53.7	15.3	C:VYS:T402
C:V410:1	322.9	0	92.3	274.2	78.3	48.7	13.9	C:VYS:T402
C:V419:1	322.9	0	92.3	274.2	78.3	48.7	13.9	C:VYS:T402
C:V415:1	315.1	0	90.0	274.2	78.3	40.9	11.7	C:VYS:T402
C:V418:1	447.6	0	89.3	354.4	70.7	93.1	18.6	C:PRN:T401
C:V459:1	447.0	0	89.2	354.4	70.7	92.6	18.5	C:PRN:T401
C:CST:T401	311.7	0	89.0	274.2	78.3	37.5	10.7	C:VYS:T402
C:V211:1	310.1	0	88.6	274.2	78.3	35.9	10.2	C:VYS:T402
C:V414:1	304.9	0	87.1	274.2	78.3	30.7	8.8	C:VYS:T402
D2:V413:1	2914.1	0	85.3	2054.4	60.2	859.7	25.2	D2:V414:1

Vzhledem k tomu, že V203 je mimo provoz, je pochopitelné, že ve výsledcích KAN V203 nefiguruje, jelikož jej není možné nijak přetížít. Pro zdárné vyhodnocení opatření je nutné pozorovat změny u jiných kontingencí v soustavě.

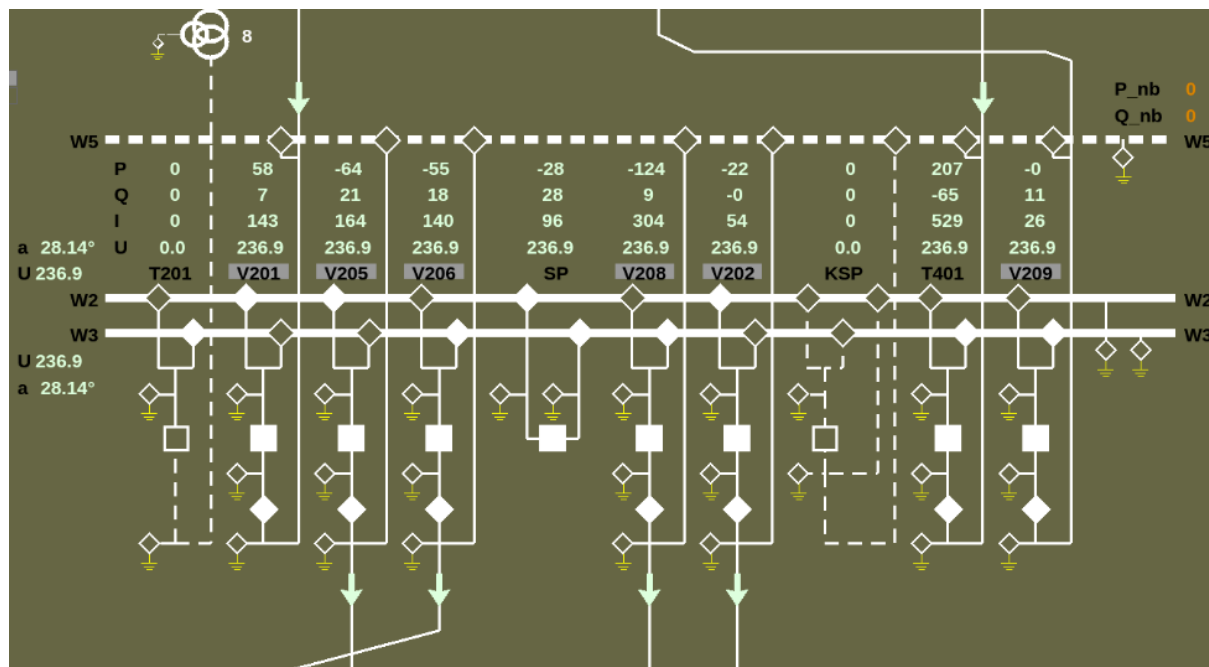
Je patrné, že v případě vlivů na transformátory v rozvodnách Výškov (T402) a Prosenice (T401) došlo k mírnému zhoršení narušení N-1.

Z kontingencí, které se týkají vedení, se zhoršila kontingence V451/V454 z původních 90,6 % na 93,8 %. Opatření nezpůsobuje další narušení kritéria N-1.

7.3.3.2 Rekonfigurace v rozvodně 220 kV – Čechy-střed

Druhým možným řešením provozní situace je ponechání vedení V203 v provozu a zamezení významného přetoku činného výkonu do tohoto vedení z dalších vedení napěťové hladiny 400 kV. Toho lze docílit vhodnou rekonfigurací.

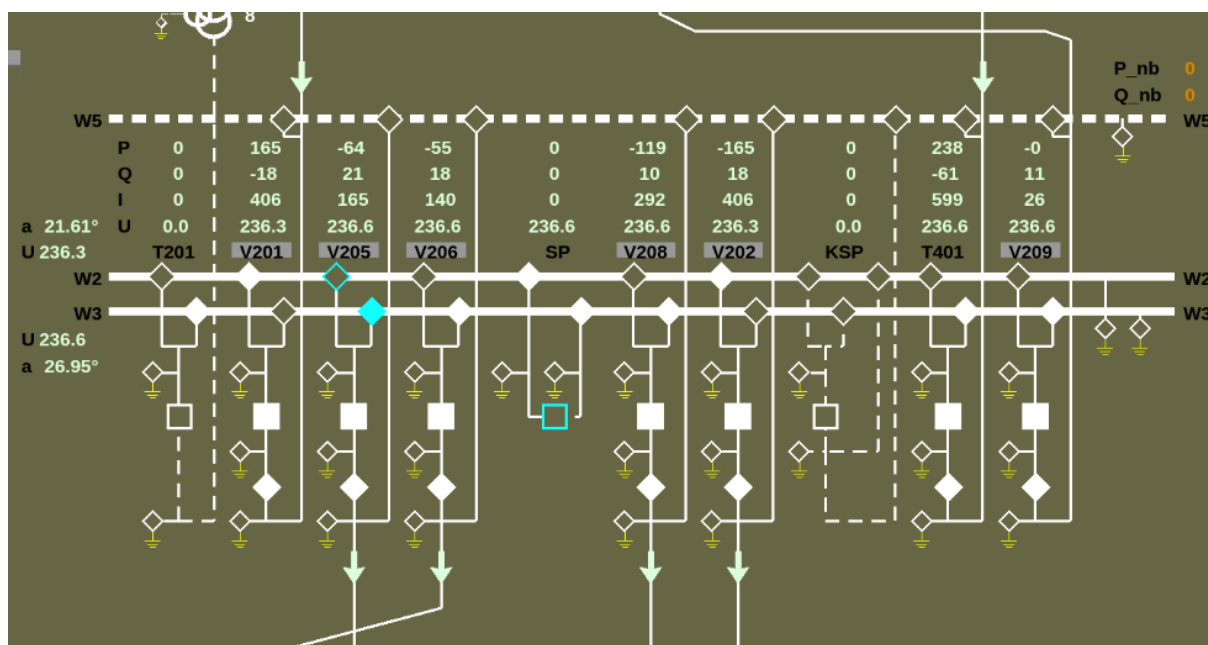
Navrhuji rekonfiguraci v rozvodně 220 kV Čechy-střed. V původním provozním stavu je rozvodna provozována na dvou přípojnicích (W2 a W3) se sepnutým spínačem přípojnic, jak znázorňuje obrázek 7.17.



Obrázek 7.17 - Původní zapojení rozvodny Čechy-střed (220 kV) – provozní scénář III. [12]

Navrhuji rozdělení provozu v rozvodně 220 kV mezi přípojnice W2 a W3 takovým způsobem, že není technicky možné, aby se činný výkon z vedení napěťové hladiny 400 kV (tedy z rozvodny 400 kV přes transformátor T401) dostal na V202. V202 je vedením mezi rozvodnami Čechy-střed a Opočínka, na které plynule navazuje ohrožené vedení V203.

V provozu na společné přípojnicích W2 nechávám V202 pouze s V201, vedoucím do rozvodny Čechy-střed z rozvodny Výškov. Zbylé vývody (V205, V206, V208 a V209) nechávám zapojeny na přípojnicích W3. Zůstávají tak zapojeny společně s T401, a tedy napájeny z rozvodny 400 kV. Provedení je znázorněno na následujícím obrázku. Pozměněné zapojení rozvodny lze sledovat na obrázku 7.18.



Obrázek 7.18 - Zapojení rozvodny Čechy-střed (220 kV) po rekonfiguraci – provozní scénář III. [12]

Tabulka 7.21 zobrazuje výsledky KAN.

Tabulka 7.21 - Výsledky KAN po rekonfiguraci – provozní scénář III. [12]

Kontingence	N-1 (A)	Přes N-1 (A)	N-1 (%)	N-0 (A)	N-0 (%)	Rozdíl (A)	Rozdíl (%)	Zařízení
C:V450:1	378.8	28.8	108.2	268.1	76.6	110.7	31.6	C:VYS:T402
C:V452:1	367.3	17.3	104.9	268.1	76.6	99.2	28.3	C:VYS:T402
C:V453:1	346.1	0	98.9	268.1	76.6	78.0	22.3	C:VYS:T402
D2:V457:1	439.7	0	97.7	182.0	40.5	257.7	57.3	D2:ETZ:T421
C:V458:1	472.8	0	94.4	354.3	70.7	118.4	23.6	C:PRN:T401
C:V451:1	1870.4	0	93.5	1087.2	54.4	783.2	39.2	C:V454:1
C:CST:T401	833.4	0	92.6	490.1	54.5	343.2	38.1	C:V221:1
C:V461:1	322.4	0	92.1	268.1	76.6	54.3	15.5	C:VYS:T402
C:V410:1	314.9	0	90.0	268.1	76.6	46.8	13.4	C:VYS:T402
C:V419:1	314.9	0	90.0	268.1	76.6	46.8	13.4	C:VYS:T402
C:V415:1	313.7	0	89.6	268.1	76.6	45.6	13.0	C:VYS:T402
C:V418:1	447.3	0	89.3	354.3	70.7	93.0	18.6	C:PRN:T401
C:V459:1	446.7	0	89.2	354.3	70.7	92.4	18.4	C:PRN:T401
C:V211:1	303.3	0	86.7	268.1	76.6	35.2	10.1	C:VYS:T402
C:V414:1	302.3	0	86.4	268.1	76.6	34.2	9.8	C:VYS:T402
D2:V413:1	2913.4	0	85.3	2053.9	60.1	859.5	25.2	D2:V414:1

Z výsledků je patrné, že opatření je účinné. Trasa tvořená V202 a V203 je v provozu, přenáší 165 MW respektive 140 MW a není tedy oslabena přenosová schopnost sítě. Zvolená rekonfigurace má dle výsledků za následek to, že původně hrozící kontingence nezapříčiní přetížení V203.

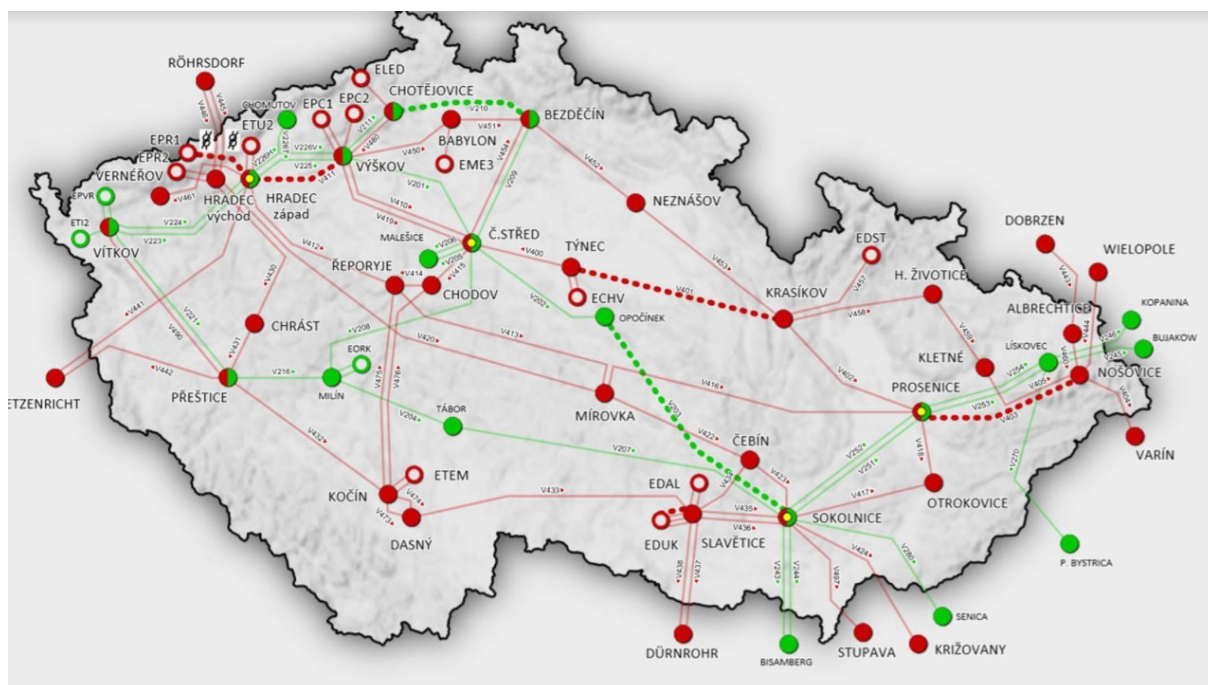
Z výsledků je naopak zjevné, že se stejně jako u předchozího řešení zhoršuje kontingence V451/V454 z 90,6 % na 93,5 %. Při opatření vypnutí vedení V203 (*kapitola 7.3.3.1*) se jedná o zhoršení

na 93,8 %. Další zvýšenou kontingencí je CST:T401/V221 ve výši 92,6 %. CST:T401 je označení transformátoru T401 v rozvodně Čechy-střed (mezi 400 kV a 220 kV částí).

Podobně jako v předchozím případě platí, že u transformátorů v rozvodnách Výškov (T402) a Prosenice (T401) dochází k mírnému zhoršení narušení kritéria N-1. V posledním řádku je patrná kontingence na německém vedení, nicméně tato kontingence se od počátečního stavu nemění.

7.3.3.3 Nepovolení plánovaných prací na V401

Ve své počáteční analýze provozního stavu tvrdím, že vedení V401, které je z důvodu prací mimo provoz, je jednou z hlavních příčin narušení N-1 u V203. Abych toto tvrzení dokázal, jako jedno z možných řešení navrhuji nepovolení plánovaných prací na V401. Vedení je označeno červenou přerušovanou čarou mezi rozvodnami Týnec a Krasíkov na obrázku 7.19.



Obrázek 7.19 - Označení V401 [27]

V tabulce 7.22 lze vidět výsledky KAN po provedeném opatření.

Tabulka 7.22 - Výsledky KAN po zapnutí V401 – provozní scénář III. [12]

Kontingence	N-1 (A)	Přes N-1 (A)	N-1 (%)	N-0 (A)	N-0 (%)	Rozdíl (A)	Rozdíl (%)	Zařízení
C:V458:1	519.2	18.2	103.6	384.2	76.7	135.0	26.9	C:PRN:T401
C:V418:1	510.1	9.1	101.8	384.2	76.7	125.9	25.1	C:PRN:T401
C:V452:1	1738.7	0	99.9	1194.1	68.6	544.5	31.3	C:V401:1
C:V459:1	496.5	0	99.1	384.2	76.7	112.3	22.4	C:PRN:T401
C:V450:1	331.9	0	94.8	243.8	69.6	88.1	25.2	C:VYS:T402
D2:V457:1	410.1	0	91.1	169.8	37.7	240.3	53.4	D2:ETZ:T421
C:V405:1	453.0	0	90.4	384.2	76.7	68.8	13.7	C:PRN:T401
C:V461:1	315.3	0	90.1	243.8	69.6	71.5	20.4	C:VYS:T402
C:V422:1	446.6	0	89.1	384.2	76.7	62.4	12.4	C:PRN:T401
C:V453:1	1547.3	0	88.9	1194.1	68.6	353.2	20.3	C:V401:1
D2:V413:1	2931.3	0	85.8	2066.7	60.5	864.6	25.3	D2:V414:1
D2:V414:1	2929.9	0	85.8	2062.0	60.4	867.8	25.4	D2:V413:1
C:V410:1	298.7	0	85.4	243.8	69.6	55.0	15.7	C:VYS:T402
C:V419:1	298.6	0	85.3	243.8	69.6	54.9	15.7	C:VYS:T402
C:V433:1	487.1	0	84.0	355.0	61.2	132.1	22.8	C:V203:1

Z výsledků je patrné, že to, zdali je V401 v provozu či nikoliv, má velký dopad na narušení kritéria N-1 v případě V203. Porovnání s původním stavem znázorňuje tabulka 7.23. Přesný výsledek N-1 po opatření znám pouze u jediné kontingence a to V433/V203. Výsledky KAN však dokazují, že nejhorší kontingencí pro V203 je výpadek V433 – 84 %. Z toho vyplývá, že N-1 v případě dalších kontingencí je nižší než uvedených 84 %. Provedené opatření hodnotím jako dostatečné.

Tabulka 7.23 - Porovnání N-1 před a po zapnutí V401 – provozní scénář III. [12]

Kontingence	Původní N-1 (%)	N-1 po opatření (%)	Zlepšení (%)
V452/V203	117,2	< 84	> 33,2
V433/V203	106,7	84	22,7
V453/V203	108,4	< 84	> 24,4
V204/V203	91,7	< 84	> 7,7
V422/V203	89,2	< 84	> 5,2

Výhodou opatření je zvýšení zabezpečení soustavy. Nevýhodou je možné časové zpoždění, pakliže se na zařízení již pracuje a tyto práce je třeba přerušit. Druhou nevýhodou je samotné odložení plánované práce. V případě častého odkládání plánovaných prací se může stát, že se práce nakumulují. Navíc pokud je v souvislosti s plánovanými pracemi domluven pro nějakou práci dodavatel, může být problematické najít pro práci nový vyhovující termín.

7.3.3.4 Redispečink v rámci ČR

Jako jednu z hlavních příčin neplnění N-1 v analýze provozního stavu uvádím špatné rozložení výroby a spotřeby elektrické energie. Na severu Čech je přebytek činného výkonu, a proto v rámci PS ČR navrhuji následující redispečink:

- Snížení výroby v elektrárně Počerady o 400 MW.
- Snížení výroby v elektrárně Počerady 2 o 200 MW.
- Zvýšení výroby z původních 1 x 157 MW na 3 x 200 MW v elektrárně Dětmárovice (zvýšení o celkem 443 MW).
- Zvýšení výroby v elektrárně Dlouhé Stráně o 157 MW.
- Celkový přesun výroby – 600 MW.

V tabulce 7.24 níže lze vidět výsledky kontingenční analýzy.

Tabulka 7.24 - Výsledky KAN po redispečinku – provozní scénář III. [12]

Kontingence	N-1 (A)	Přes N-1 (A)	N-1 (%)	N-0 (A)	N-0 (%)	Rozdíl (A)	Rozdíl (%)	Zařízení
C:V452:1	548.6	0	94.6	369.7	63.7	178.8	30.8	C:V203:1
D2:V457:1	410.1	0	91.1	169.5	37.7	240.6	53.5	D2:ETZ:T421
C:V433:1	526.1	0	90.7	369.7	63.7	156.4	27.0	C:V203:1
D2:V413:1	2938.0	0	86.0	2071.4	60.7	866.6	25.4	D2:V414:1
D2:V414:1	2936.5	0	86.0	2066.6	60.5	869.8	25.5	D2:V413:1
C:V453:1	498.1	0	85.9	369.7	63.7	128.3	22.1	C:V203:1
C:V461:1	298.3	0	85.2	211.2	60.3	87.2	24.9	C:VYS:T402
C:V450:1	292.7	0	83.6	211.2	60.3	81.5	23.3	C:VYS:T402
C:V418:1	416.2	0	83.1	315.7	63.0	100.5	20.1	C:PRN:T401
C:V430:1	1934.5	0	80.6	1578.2	65.8	356.2	14.8	C:V420:1
C:V458:1	401.0	0	80.0	315.7	63.0	85.3	17.0	C:PRN:T401
C:V204:1	445.5	0	76.8	369.7	63.7	75.8	13.1	C:V203:1
C:V422:1	435.5	0	75.1	369.7	63.7	65.8	11.3	C:V203:1

Z výsledků je patrné, že provedený redispečink plní zamýšlený účel. Porovnání s původním stavem znázorňuje tabulka 7.25.

Tabulka 7.25 - Porovnání N-1 před a po redispečinku – provozní scénář III. [12]

Kontingence	Původní N-1 (%)	N-1 po opatření (%)	Zlepšení (%)
V452/V203	117,2	94,6	22,6
V433/V203	106,7	90,7	16,0
V453/V203	108,4	85,9	22,5
V204/V203	91,7	76,8	14,9
V422/V203	89,2	75,1	14,1

Narušení N-1 u vedení V203 jsem opatřením odstranil. Změny jsou výrazné a nejhorší kontingence nepřesahuje hodnotu 95 %. Provedený redispečink má mimo jiné za následek také snížení narušení N-1 u transformátorů v rozvodnách Výškov a Prosenice. Nejvýraznější narušení N-1 nastává po kontingenci V461/VYS:T402 a to 85,2 %.

Výhodou opatření je částečné vyrovnaní nevhodného umístění výroby vůči spotřebě (snížení přenosových ztrát). Nevýhodou opatření jsou časová a finanční náročnost.

7.3.4 Vyhodnocení navržených řešení

Ve výsledcích KAN se často objevují narušení N-1 u transformátorů v rozvodnách Výškov a Prosenice. Nevyplyvá z toho, že se tato neplnění v praxi neřeší, nicméně pro tento provozní scénář je zadán požadavek na řešení narušení N-1 u vedení V203.

Tato skutečnost má praktický základ. Pokud po kontingenci dojde k překročení dovoleného zatížení vedení, hrozí poškození jeho nejslabšího článku. Přetížené vedení se nesmí provozovat a je nezbytné ho okamžitě vypnout. Nastává tak v soustavě stav N-2, se kterým se standardně nepracuje. V takovém případě se jedná o kaskádovitou poruchu, která může vyústit až v nebezpečný provozní stav.

Oproti tomu případné přetížení transformátoru (v tomto případě maximálně o 9,3 %) nezpůsobuje automaticky jeho odpojení. Transformátory PS jsou dimenzovány na možné dočasné přetížení a není tedy nutné provádět opatření preventivně a lze využít dočasné přetížitelnosti a v případě kontingence se nejdříve pokusit o obnovení provozu vypadlého prvku. Teprve při neúspěchu pak přistoupit ke korektivnímu opatření, které transformátor odlehčí.

Oporu má tato skutečnost v Provozní instrukci ČEPS 520-146, která stanovuje mj. zatížitelnost transformátorů. Transformátory lze dle této provozní instrukce zatížit do 120 % dovoleného zatížení bezpečně až po dobu 180 min. V celém průběhu provozního scénáře má však nejhorší možné narušení kritéria N-1 hodnotu pouze 109,3 %. [21]

Závažným problémem tohoto provozního scénáře jsou kontingence způsobující narušení kritéria N-1 u vedení V203. Postupně navrhuji 4 odlišná řešení, z nichž všechna uspokojivě situaci řeší a narušení kritéria N-1 v případě vedení V203 odstraňují.

V prvním případě navrhuji ohrožené vedení V203 vypnout. Vedení je sice ohroženo, ale v porovnání s ostatními vedeními má relativně nízkou přenosovou schopnost. Výkon, který je potřeba z V203 přenést jiným vedením, je tedy relativně nízký. Opatření se ukazuje jako funkční. Výkon přenášený V203 dokážou okolní vedení přenést bez výrazných potíží a narušení kritéria N-1 je u vedení odstraněno a N-1 udrženo pod 94 %.

Druhým řešením je zamezit možnému přenosu výkonu z napěťové hladiny 400 kV do napěťové hladiny 220 kV. Toho dosahují rekonfigurací v rozvodně 220 kV Čechy-střed. Po rozdělení provozu v rozvodně na dvě přípojnice s rozepnutým spínačem přípojníc dochází k rozdělení vedení V202 (respektive V203) od transformátoru, který spojuje rozvodny 220 kV a 400 kV. V případě výpadku vedení 400 kV přebírají zatížení v důsledku tohoto zapojení další vedení napěťové hladiny 400 kV, nikoliv však V203.

Třetím řešením je odstranit jednu z příčin narušení N-1. Jako příčinu uvádím oslabenou část sítě. Navrhuji tedy nepovolit plánované práce a uvádím zpět do provozu vedení V401. Řešení je velice účinné, neboť narušení kritéria N-1 u V203 se sníží u všech kontingencí o desítky procent. Vzhledem k nedokonalému umístění výroby vůči spotřebě však výsledky KAN zobrazují 2 kontingence ovlivňující právě vedení V401. Hodnoty ani jedné z těchto kontingencí nedosahují 100 %, řešení tedy považuji za dostatečné.

Poslední variantou je odstranění druhé z příčin narušení N-1. Navrhuji redispečink pro částečné vyrovnání nevhodného rozmístění výroby vůči spotřebě. Přesun výroby činného výkonu 600 MW provádím z elektráren Počerady 1 a 2 do elektráren Dětmárovice a Dlouhé stráně. Provedeným redispečinkem dochází ke snížení toku činného výkonu, který musí vedení V452, V453 a V433 přenášet. Díky provedenému opatření dochází ke snížení narušení N-1 o 16-23 %. Kladem provedeného opatření

je fakt, že zapříčiňuje snížení narušení N-1 u transformátorů v rozvodnách Výškov a Prosenice. Výsledek považuji za velmi dobrý.

V dané provozní situaci volím jako konečné řešení vypnutí vedení V203 i za cenu dočasně snížené spolehlivosti soustavy. Opatření pouze mírně zhoršuje neplnění N-1 v případě kontingence V451/V453, což nepovažuji za nebezpečné. K dalšímu narušení kritéria N-1 na monitorovaných prvcích nedochází.

8 Závěr

Výběr provozních scénářů a jejich modifikace probíhala ve spolupráci se zástupcem firmy ČEPS. Další postup v diplomové práci od návržení řešení, přes provádění výpočtů pomocí softwaru a vyhodnocování výsledků provádím samostatně.

Každý ze tří provozních scénářů zakončuji vyhodnocením jednotlivých opatření a výběrem konečného. Vyhodnocení jednotlivých provozních scénářů provádím za každým z nich samostatně v kapitolách – 7.1.4, 7.2.4, 7.3.4. Obecně mohu konstatovat, že řešení ve všech třech provozních scénářích plní účel a původní narušení kritéria N-1 je odstraněno. Cíl práce je tedy naplněn.

Z rozboru a uveřejněných výsledků simulací vyhodnocuji, že žádné z uvedených opatření nelze obecně stanovit nejvhodnějším. Každý provozní stav v síti vyžaduje komplexní analýzu a individuální přístup k narušení kritéria N-1. Z vlastního pozorování si dovoluji tvrdit, že se vždy vyplatí zvážit všechna dostupná řešení a aplikovat to, které se v dané situaci jeví jako nejlepší.

Dnešní technické vybavení poskytuje možnosti, kdy lze navržené řešení v DŘS provést v módu simulací a výsledky spatřit v řádu desítek sekund. Dispečer ČEPS disponuje výcvikem a také výpočetním softwarem, který mu poskytuje možnost nasimulovat nespočet provozních stavů a porovnat různá opatření mezi sebou v poměrně krátkém čase.

Zvolené opatření může být závislé na rychlosti, s jakou je potřeba opatření provést. Pakliže v soustavě nastane kontingence způsobující narušení kritéria N-1, ve všech třech provozních scénářích se osvědčuje využití rekonfigurace v některé z rozvodů. Výhodou rekonfigurace je její rychlost, neboť realizace v dnešní době probíhá vzdáleně z Dispečinku ČEPS. Nevýhodou opatření je snížení spolehlivosti rozdělení provozu v rozvodně.

Zcela specifickým problémem je narušení kritéria N-1 v případě přeshraničních linek V445 a V446 mezi rozvodnami Hradec a Röhrsdorf. V takovém případě se nabízí využití PST v rozvodně Hradec u Kadaně. Ostatně převážně z tohoto důvodu k pořízení PST došlo. Nicméně neznamená to, že PST nemohou najít své využití také u jiných narušení N-1. Nejedná se pouze o možnost chránění právě těch vedení, na kterých jsou tyto transformátory zapojeny, ale při správném řízení lze účinně zlepšit plnění N-1 i u vedení v jiných částech soustavy, což dokládají mnou aplikovaná řešení. Nevhodné řízení však může zapříčinit narušení kritéria N-1 u sousedních PPS.

Ve všech provozních scénářích využívám redispečinku. Pakliže jsou pro redispečink dostupné zdroje, jedná se o technicky velmi účinné opatření. Dochází při něm k odstranění nevhodného rozložení výroby a spotřeby, je za potřebí nižší kapacita vedení a dochází k nižším přenosovým ztrátám. Obecnými nevýhodami redispečinku jsou časové a finanční náklady. Požadavek na změnu výroby v elektrárnách má určité zpoždění závislé na tom, po jakém typu elektrárny změnu požadujeme. Stejně tak je při redispečinku nutno počítat s finančním dopadem na PPS. Obsahem diplomové práce není porovnávat finanční dopady jednotlivých opatření. Cílem je řešit pouze technickou stránku kritéria N-1.

Při výběru opatření je na prvním místě bezpečnost. Opatření v první řadě musí odstranit současná narušení kritéria N-1 a nezpůsobit jiná. To se v mnou navržených řešeních daří.

Literatura

- [1] KOLEKTIV AUTORŮ. *Řízení a stabilita elektrizační soustavy*. Praha: Asociace energetických manažerů, 2013. ISBN 978-80-260-4461-1.
- [2] GALETKA, Martin. *Přenosová soustava elektrické energie* [online]. 11. 1. 2016 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/13676-prenosova-soustava-elektricke-energie>
- [3] Údaje o PS. *ČEPS, a.s.* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/udaje-o-ps>
- [4] Vybavíme české sítě PST? *Technický týdeník* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/vybavime-ceske-site-pst_18582.html
- [5] CHLADOVÁ, Miloslava a Martin PISTORA. Rozšířený model elektrizační soustavy a jeho využití. *Allforpower.cz* [online]. 28. 10. 2020 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://allforpower.cz/rozvody-energii/rozsiřeny-model-elektrizacni-soustavy-a-jeho-vyuziti-252>
- [6] *Pravidla provozování přenosové soustavy, Kodex přenosové soustavy: Část V., Bezpečnost provozu a kvalita na úrovni PS* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/documents/10540/3727955/ČEPS+PPPS+část+V.pdf/ad70574f-bc22-46e1-b970-8f609d6c29df>
- [7] Provozní instrukce ČEPS, a.s., PI 520-11, Roční, měsíční, týdenní a denní příprava provozu zařízení PS, 2018
- [8] Provozní instrukce ČEPS, a.s., PI 620-15, Řešení neplnění kritéria N-1 v ČEPS, 2019
- [9] Základní činnosti dispečinku ČEPS, a.s. *Technický týdeník* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/zakladni-cinnosti-dispecinku-ceps-a-s_13565.html
- [10] VOBOŘIL, David. *Podpůrné služby – přenos elektřiny* [online]. 22. 6. 2015 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/podpurne-sluzby-prenos-elektriny>
- [11] *Analýza provozu elektrizační soustavy ČR v podmínkách nového trhu s elektřinou* [online]. srpen 2019 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/176370772-Analyza-provozu-elektrizacni-soustavy-cr.html>
- [12] Dispečerský řídicí systém – DŘS ČEPS, a.s., 2021
- [13] LOVELL, Justine. *In Search of Lost Time* [online]. 5. 3. 2018 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.energycouncil.com.au/analysis/in-search-of-lost-time/>
- [14] System separation in the Continental Europe Synchronous Area on 8 January 2021. *ENTSO-E* [online]. 26. 1. 2021 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.entsoe.eu/news/2021/01/26/system-separation-in-the-continental-europe-synchronous-area-on-8-january-2021-2nd-update/>
- [15] What services does an RSC offer? *ENTSO-E* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.entsoe.eu/regions/>
- [16] Rozvoj PS. *ČEPS, a.s.* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/rozvoj-ps>
- [17] Systémové služby. *ČEPS, a.s.* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/systemove-sluzby>

- [18] TOMAN, Petr a kol. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [19] *Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/943 ze dne 5. června 2019 o vnitřním trhu s elektřinou* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z:
<https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=32019R0943>
- [20] Grid Map. *ENTSO-E* [online]. 2019 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z:
<https://www.entsoe.eu/data/map/>
- [21] Provozní instrukce ČEPS, a.s., PI 520-146, Zatížitelnost vedení a transformátorů PS, 2020
- [22] Kodex PS, Část I., Základní podmínky pro užívání PS
- [23] Nařízení Komise (EU) 2017/1485 ze dne 2. srpna 2017, kterým se stanoví rámcový pokyn pro provoz elektroenergetických přenosových soustav
- [24] Kodex PS, Část VI., Dispečerské řízení, 2019
- [25] Přenosové služby. *ČEPS, a.s.* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z:
<https://www.ceps.cz/cs/prenosove-sluzby>
- [26] Kodex PS, Část II., Přenosové služby, 2021
- [27] Informační portál ČEPS, Vizualizace sítě, 2021